Földtani Közlöny

137/1 A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata

BULLETIN OF THE HUNGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY



Budapest, 2007

Földtani Közlöny

A Magyarhoni Földtani Társulat folyóirata

Bulletin of the Hungarian Geological Society

Vol. 137/1

Budapest
ISSN 0015-542X

Főtámogató
MOL Rt.

Sponsor
MOL Rt.

A kéziratokat az alábbi címre kérjük küldeni

PIROS Olga, 1442 Budapest, Pf. 106.

Manuscripts to be sent to

Olga PIROS, 1442 Budapest, P. O. box 106.

Földtani Közlöny is abstracted and indexed in **GeoRef** (Washington) **Pascal Folio** (Orleans) **Zentralblatt für Paläontologie** (Stuttgart), **Referativny Zhurnal** (Moscow) and **Geológiai és Geofizikai Szakirodalmi Tájékoztató** (Budapest)

Földtani Közlöny 137/1, 1–16. (2007) Budapest

Eróziós üledékhézag az Ugodi Mészkő és a Polányi Márga Formációk között a tapolcafői Bóta-kőn (Északi-Bakony)

Erosional gap between the Ugod Limestone and the Polány Marl in the Bóta-kő quarry, Tapolcafő (Northern Bakony, Hungary)

CSÁSZÁR Géza[1] – GÖRÖG Ágnes[2] – KOLLÁNYI Katalin[1]

(8 ábra, 4 fénykép)

Tárgyszavak: nannoplankton, foraminifera, rétegtan, lepusztulás, késő-kréta, vulkáni tevékenység
Keywords: Nannoplankton, foraminifera, stratigraphy, erosion, Late Cretaceous, volcanic activity

Abstract

The Late Cretaceous sedimentation — which is the result of 2nd order cyclicity in the Transdanubian Range — is characterised by a slow but continuous transgression. This has invaded the highly dissected area gradually alongside the influence of 3rd and 4th order cyclicity (HAAS 1999). In the troughs that have been arranged parallel to each other first a limnic, then brackish-water and finally marine sedimentary environment have developed with varied clastic sedimentation. The troughs were rimmed by ridges which were covered directly with platform carbonates deposited in a tropical environment. In this tectonically, very active environment after the small-scale changing of the relative sea level — owing to accelerated subsidence and a rapid sea level rise — the rudistid and colonial organism-bearing carbonate platform drawned, and the sedimentation continued as hemipelagic marl.

In the hanging wall of the Ugod Limestone, above an erosional surface and in an open fissure, there lies a marl sequence (Polány Marl). This started with a pale grey, followed by a red and thena grey colour in the Bóta-kő quarry, near Tapolcafő village. The lowermost layer and the fissure fill contain no marine fossils, but the smectite content is significant. Although the kaolinite content is poor its frequency is greater than elsewere in the succession. The above data do not refute the general tendency mentioned but without doubt they modify it. According to this, before the subsidence speeded up, for a short time , a significant sea level drop may have resulted in subaerial conditions for smaller areas near to the coast. The smectite content can be explained as volcanic ash which may derive from a volcano situated far from the Bóta-kő quarry.

Összefoglalás

A késő-kréta üledékképződést úgy ismertük meg, hogy a 2. rendű ciklusként lassú tenger-előrenyomulás eredményeként fokozatosan fedte le az erőteljesen tagolt térszínt, melyben azonban 3. és 4. rendű ciklicitás hatásai is felismerhetők (HAAS 1999). A párhuzamos elrendeződésű árkokban előbb édes- majd elegyesvízi, végül tengeri környezetben rakódott le a törmelékes üledék, míg az árkokat szegélyező hátságokon a meleg, sekélytengeri környezetben közvetlenül platformkarbonát fejlődött ki. A szerkezeti szempontból nagyon aktív környezetben a tengerszint kisebb mérvű relatív ingadozásait követően a felgyorsult süllyedés és egy gyors vízszintemelkedés következtében a rudistás és telepalkotó szervezeteket is tartalmazó karbonátplatform megfulladt, és az egykori árkokhoz hasonlóan itt is márga jellegű üledékképződés váltotta fel a mészkőképződést.

A Tapolcafő melletti Bóta-kői kőfejtő rétegsorában az Ugodi Mészkő fedőjében, arra eróziós diszkordanciával, hasadékkitöltésként is megjelenő fakózöldes tónusú bázisrétegek fölött előbb vörös, majd szürke színű Polányi Márga települ. A legalsó réteg és a hasadékkitöltés anyaga tengeri ősmaradványokat nem tartalmaz, jelentős a szmektittartalma, és egyúttal itt a legnagyobb a kaolinittartalma is.

[1] Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

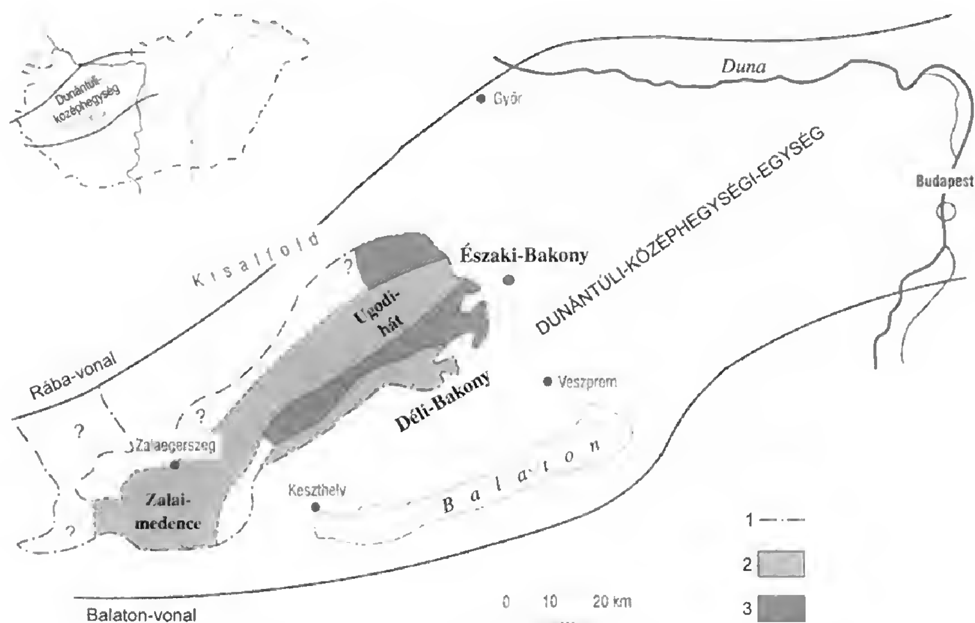
[2] Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék 1117 Budapest, Pázmány Péter Sétány 1/c

Mindez nem cáfolja a fent jelzett általános tendenciát, de egyértelműen jelzi, hogy a hátságok legsekélyebb részén – jelen esetben, partközeli környezetben – a felgyorsult süllyedés előtt a jelentősebb tengerszint esések idején rövid idejű és valószínűleg kis kiterjedésű szárazulattá válással másutt is számolhatunk. A szerény szmektittartalom ugyanakkor nagyon távoli forrásból származó vulkáni hamut jelezhet.

Bevezetés

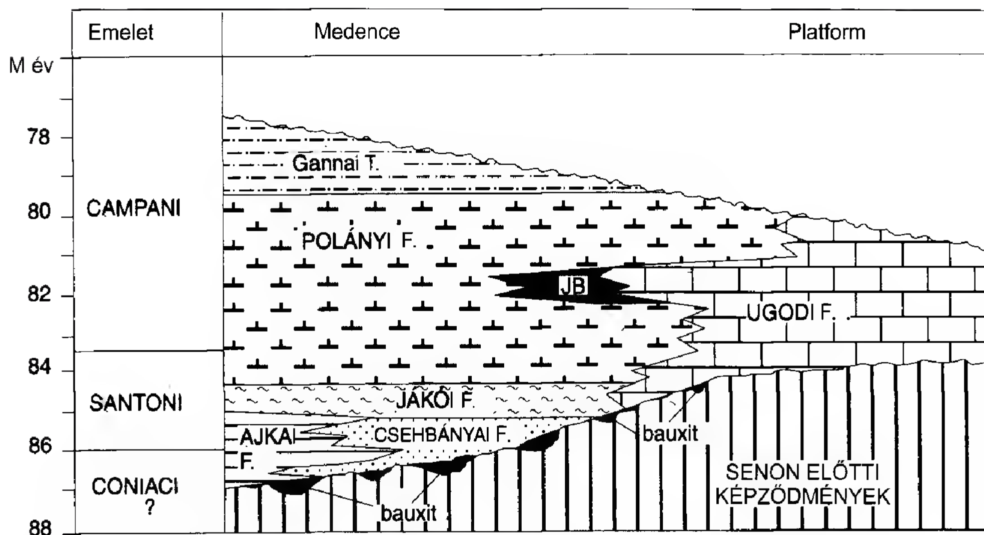
Felső-kréta képződmények a Dunántúli-középhegységben csak a Bakony területén őrződtek meg (HAAS 1999a, b, HAAS 2001 – *1, 2. ábra*). Ennek a sajátos, már KOCH (1871) által felismert, rétegsornak az egyik sajátos eleme az Ugodi Mészkő Formáció, amely a mai Magyarország egyik legrégebben ismert földtani képződménye. Első említése az irodalomban BEUDANT (1825) nevéhez fűződik, aki Sümeg környékéről írt le Hippuritest és Radiolitest tartalmazó, általa jurába sorolt mészkövet. Az első érdemi ismeret F. HAUERtől (1862) származik, aki „Schichten von Homokbödöge" néven különítette el ezt a többi felső-kréta képződménytől. A Polányi Márga Formációról elsőként ugyancsak F. HAUER (1862) tett említést „Schichten von Polány" néven.

A múlt századi bauxit-, kőszén- és szénhidrogénkutatásnak köszönhetően a felső-kréta üledékciklus fent említett két eleméről is már néhány évtizede bőséges információ áll rendelkezésünkre (BARNABÁS 1970; SZANTNER & SZABÓ 1970; KNAUER &



1. ábra. A felső-kréta képződmények elterjedése a Dunántúli-középhegységben (HAAS 2001). Jelmagyarázat: 1. a felső-kréta jelenlegi elterjedése, 2. hátsági terület, 3. hátságok közti süllyedék

Fig. 1 Extent of the Upper Cretaceous formations in the Transdanubian Range. Explanatory: 1 Recent extent of the Upper Cretaceous, 2 Ridge areas, 3 Troughs bordered by ridges (After HAAS 2001)



2. ábra. Medence és hátsági kifejlődésű felső-kréta üledékciklus képződményeinek kapcsolata a Dunántúli-középhegységben (Haas 1999b). JB – Jákóhegyi Breccsa Tagozat

Fig. 2 Connection between the Upper Cretaceous formation of basinal and platform facies int he Transdanubian Range (After HAAS 1999). JB – Jákóhegy Breccia Member

GELLAI 1978; HAAS 1979, 1983; HAAS & J. EDELÉNYI 1979). A két képződmény kap-csolatára vonatkozóan levont következtetéseket HAAS (1996a) fogalmazta meg: „A vertikális átmenet esetében az Ugodi és a Polányi Formáció jellegeit mutató rétegcsoportok többször váltakozhatnak.", illetve (HAAS 1999b): „... Ugod Limestone...are followed by the Polány Formation through a transitional interval". Másutt (HAAS 1996b): „A formáció határai általában nem élesek, mind a fekü, mind a fedő formációkkal átmeneti kőzettípusokkal, esetenként jelentős vastagságú átmeneti egységekkel érintkeznek (pl. Jákói-Ugodi Formáció, Ugodi-Polányi Formáció)." Más szóval, tehát az eusztatikus tengerszintváltozásokra visszavezethetően (HAAS 1999a, b), előfordulhat éles határ is az Ugodi Mészkő és a Polányi Márga között. Mindazonáltal a közelmúltig nem volt ismeretes szárazulati üledék-hézagra utaló jelenség sem a nagyszámú felszíni, sem a még nagyobb számú fúrási rétegsorok között. Éppen ezért feltűnő volt a két formációnak a tapolcafői Bóta-kői kőfejtőben megismert, fentiektől eltérő jellegű kontaktusa, amelynek felvázolása és értelmezése a jelen rövid ismertetés célja.

Az Ugodi Mészkő főbb jellemzői

HAAS (1996b) megfogalmazása szerint az Ugodi Mészkő a háttér lagúnától a zátonytetőn keresztül az előtéri lejtőig terjedő karbonátplatform eredetű üledék uralkodóan rudista kagylókból és azok töredékéből felépülő, biomikrites, ritkábban biopátos arenit és rudit szövetű, világos tónusú, vastagpados mészkő. Előfordulása a Bakony hegységben egy DK-i (Sümeg és Ajka közötti) és egy ÉNy-i helyzetű

(Ukk–Ugod) zóna által jelzett késő-kréta hátsághoz kötött, de jelentős volumenű előfordulása ismert a Zalai-medence északi részén is. Legnagyobb ismert vastagsága megközelíti a 400 m-t. Miután előfordulása az eróziónak leginkább kitett késő-kréta paleogeográfiai hátságokhoz és azok magasabb helyzetű lejtőjéhez kötött, a formáció feküjéül többnyire közvetlenül a Fődolomit és a Dachsteini Mészkő Formáció szolgált (KNAUER & GELLAI 1978).

Az Ugodi Mészkő korának megítéléséhez a rudista kagylók (CZABALAY 1982), a foraminiferák (SIDÓ 1974), és a palynomorphák (GÓCZÁN & SIEGLNÉ FARKAS 1990) nyújtottak alapot. CZABALAY (1982) az Ugodi Mészkő sümegi előfordulásának rudista kagylókban gazdag együtteséből a campani korszakra jellemző alábbi két fajt említette: *Praeradiolites subtoucasi, Lapeirouseia zitteli.* Az Ugodi Mészkőre SIDÓ (1974) a *Rhapidionina – Rhipidionina liburnica* foraminifera együttest találta a legjellemzőbbnek, amelyek ugyancsak campani korszakbeli képződésre utalnak. A Gyepükaján–7 fúrásban az Ugodi Mészkő feküjéből *Globotruncana concavata* zónát igazolt, amelynek képződése ugyancsak a campani korszakra esik.

A Polányi Márga főbb jellemzői

A Polányi Márga nyílttengeri medence fáciesű, mélyebb szublitorális, sekély-batiális eredetű szürke agyagos mészkő, mészmárga, márga, aleuritos márga összetételű, gyakran bioturbált, főként plankton foraminiferákban gazdag, felső részén *Inoceramus* kagylót is tartalmazó képződmény. Ez a felső-kréta üledékciklus legfiatalabb és legáltalánosabban elterjedt tagja, melynek eredeti vastagsága a ciklusvégi és későbbi lepusztulások miatt nem ismert. Ez idő szerinti legnagyobb megőrződött vastagsága 800 m. Három tagozat rangú egysége közül a Jákóhegyi Breccsa Tagozat az Ugodi Mészkő platformjáról gravitációsan a lejtőre szállított változatos méretű, jobbára szögletes mészkőtörmelékből áll. A formáció legfelső tagozata a fölfelé növekvő szemcseméretű (aleuritos, sőt homokos) Gannai Tagozat (HAAS 1996a). A formációnak az Ugodi Mészkő fedőjében való megjelenése arról tanúskodik, hogy a dunántúli-középhegységi (pelsói-egységi) késő-kréta üledékgyűjtő süllyedésének és a relatív vízszintemelkedésnek az együttes hatása meghaladta az üledékképződés sebességét.

A Jákói és a Polányi Márga Formáció különböző helyekről származó mintáiból előkerült *Aspidolithus* sp. aff. *parcus constrictus* faj alapján FOGARASI (in BODROGI et al. (1998) a fenti képződményeket a campani emeletbe sorolta [CC–18-(19)] zóna. A plankton foraminiferák alapján a képződmény alsó részének korát SIDÓ (1980) a Sümeg Sp–2 fúrásban a *G. arca – G. elevata* együttes zónába, BODROGI et al. (1998) a Sümeg–22 fúrásban ugyancsak a kora-campani *G. elevata* zónába (CC–18), ugyanebben a munkában az Mp–42 fúrásban a *D. asymetrica* zónába (=CC–17 teteje, CC–18 alja) helyezte.

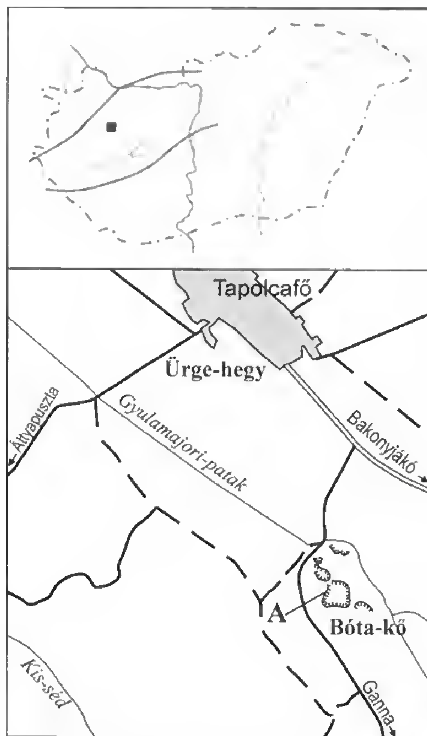
FŐZY (1998) a Sümeg környéki felső-kréta márgákból származó ammoniteszek között az alábbi korértékű cephalopodákról számolt be: *Menabites (Delawarella) suemegiensis* FŐZY, *Pachydiscus* cf. *levyi* DE GROSSUVRE, *P.* cf. *precolligatus* COLLIGNON és *Anghulites* cf. *westphalicus* SCHLÜTTER, amelyek alapján a vonatkozó képződményeket a *Delawarella delawariensis* zónába tartozónak minősítette.

A Bóta-kői kőfejtő

A vizsgált szelvény földtani felépítése

A ma is működő Bóta-kői kőfejtőben (3. *ábra*) feltárt Ugodi Mészkőről az első érdemi adatokat JASKÓ (1935) szolgáltatta, aki innen 6 Hippurites taxont, 5 egyéb kagyló és 1 tengeri sün fajt ismertetett. BIHARI (1971, 1981) a bányában feltárt 24–29 m vastag rétegsort nagymértékben azonosnak találta a Tevel-hegy változatos Ugodi Mészkövével, de megemlítette, hogy emellett a kőfejtő alsó udvarában fehér, aprókristályos, cukorszövetű, tömör mészkő is előfordul.

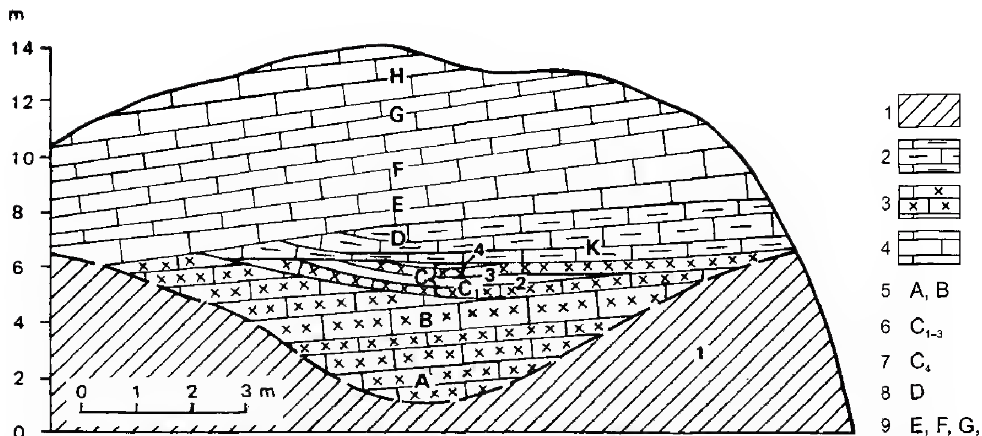
HAAS (1979) az északi kis udvar DK-i és a déli nagyobb udvar DNy-i faláról közölt egy kb. 13, illetve egy 12 m vastagságú, egymástól lényegesen eltérő, részletes rétegsort. A kis fejtés (4. *ábra*) mészkő anyagú rétegsorának alsó része világosszürke, vastagpados kalkarenitből (A és B jelű rétegek) áll, felette 1,3 m vastagságú, HAAS (1979) által csatornakitöltésnek minősített vékonylemezes lencsék alkotta rétegsor települ. Az alját biomikrites wackestone (C_{1-3}), a közepét 1–2 cm vastag vörös színű, plankton foraminiferát és Calcisphaerula-féléket tartalmazó mészmárga (C_4), a felső részét allokémiai elegyrészektől mentes mudstone szövetű agyagos mészkő (D) képezi. A két utóbbi kőzettípus között kalcit anyagú repedéskitöltést figyelt meg, amelyet a kőzetté válás utáni folyamatnak minősített, míg a fent ismertetett lencse alakú kitöltést mutató kőzeteket szingenetikusnak tekintette. A szelvény felső néhány méterét „vörösesbarna, barnásszürke, pelágikus mikrofaunát tartalmazó, biomikrit-kalkaleurit szövetű rétegek" (E, F, G, H) alkotják, amelyeket a szelvényben mészkőként ábrázoltak. A fenti rétegsor egy kissé nehezen értelmezhető csatorna-üledékként, ha annak legfelső, legalább 1 m vastag agyagos mudstone szövetű eleme (D köteg) láthatóan nem üledékes, hanem eróziós kiékelődésű, miközben fedőüledéke vörösbarna, biomikrites és kalkaleuritos mészkőből áll. Talán helyesebb lenne mind a C test, mind az E test feküjében areális elmosásról beszélni, minthogy nem egy szűk zónára korlátozódó, viszonylag markáns bevágódásról van szó. Sajnos, az egykori kis kőfejtőt feltöltötték, területén ma létesítmények vannak, vagyis a rétegsor korrelációja az 5. *ábrán* és az 1. és 2. *fényképen* látható szelvénnyel elvégezhetetlen.



3. *ábra*. A Bóta-kői kőbánya helyszínrajza a vizsgált rétegsor helyével (A)

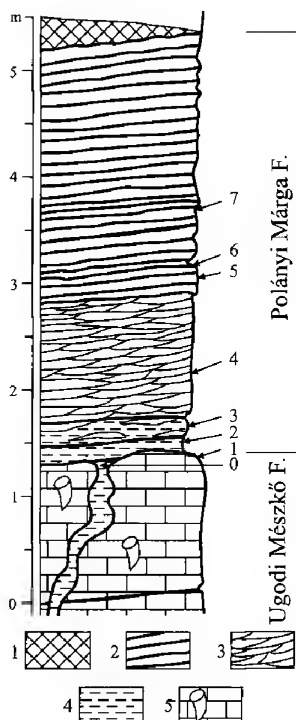
Fig 3 Location map of the Bóta-kő quarry with indication of the site of the columnar section (A)

A déli kőfejtő DNy-i falának rétegsorában HAAS (1979) két kőzettípust különböztetett meg. Alul 8 m tömeges, szürkésfehér rudistás, kalkaleuritos, kalkarenites



4. ábra. A Bóta-kői kőfejtő északi (kis) udvarának DK-i részén felvett földtani szelvény (HAAS 1979) Jelmagyarázat: 1. lejtőtörmelék, 2–4. felső-kréta, 2. agyagos mészkő, 3. kalkarenites mészkő, 4. mészkő, 5. biomikrites szövet, 6. fosszíliatöredékes biomikrit (wackestone), 7. vörös mészmárga plankton foraminiferával, 8. rózsaszínes, agyagos mudstone, 9. vörösbarna, barnásszürke, biomikrites, kalkaleuritos mészkő

Fig 4 Geological section depicted in the Northern (small) pit of the Bóta-kő quarry (After HAAS 1979) Explanatory: 1 Scree, 2–4 Upper Cretaceous: 2 Clayey limestone, 3 Calcarenitic limestone, 4 Limestone, 5 Biomicritic texture, 6 Biomicrite (wackestone), 7 Red calcareous marl with planktonic foraminifera, 8 Pinky, clayey mudstone, 9 Reddish brown, brownish grey, biomicritic, calc-silty limestone



mészkő települ, melyet éles határral vékonyréteges, világosszürke, rózsaszínes árnyalatú, aleuritos, plankton foraminiferában (*Globotruncana, Globigerinelloides*) viszonylag gazdag afanerites mészkő követ. Itt a rétegsort 3 m vastag biomikrites, kalkaleuritos mészkő zárja.

A fenti két rétegsorral szemben a volt déli kőfejtő ÉNy-i részén 1996-ban az *5. ábrán* és az *1. fényképen* látható Ugodi Mészkőből és Polányi Márgából álló rétegsort találtam. A vastagpados, piszkosfehér vagy csontszínű, uralkodóan wackestone, alárendelten grainstone szövetű mészkőben (1. minta) csökkenő gyakorisági sorrendben az alábbi bioklaszt tartalom:

5. ábra. A Bóta-kői kőfejtő déli (nagy) udvarának ÉNy-i részéről származó rétegoszlop. – Jelmagyarázat: 1. talaj, 2–4: Polányi Márga F. 2. fakószürke, alsó részén vöröses lemezes márga, 3. lencsés, lemezes, vörös márga, 4. rózsaszín, vörös és szürkészöld agyag, agyagmárga, 5. Ugodi Mészkő F., rudistás, bioklasztos

Fig. 5 Lithologic column depicted in the southern pit of the Bóta-kő quarry, Tapolcafő – Explanatory 1 Soil, 2–4 Polány Marl Fm: 2 Pale grey marl with reddish platy intercalations at its basal part, 3 Lenticular to platy red marl, 4 Pinky, red to greyish-green clay and clayey marl, 5 Rudisted, bioclastic Ugod Limestone Fm









1. fénykép. Az Ugodi Mészkő és az arra éles határral települő vörös, fölfelé szürkébe átmenő Polányi Márga kontaktusa, részben törmelékkel fedetten a tapolcafői Bóta-kői kőbánya északnyugati részéből (1996. évi állapot)

Photo 1 Erosional contact between the Ugod Limestone and the Polány Marl. The colour of the letter one is red but turning into grey upwards. The section is covered in part by scree. Bóta-kő quarry, Talolcafő (in 1996)

2. fénykép. Az Ugodi Mészkő eróziós felszínére és abba hasadékkitöltésként is települő, bázisán zöldes tónusú, majd vörösre váltó Polányi Márga a tapolcafői Bóta-kői kőbánya (1996. évi állapot).

Photo 2 Red Polány Marl deposited above erosional surface of the Ugod Limestone and also as fissure fill in it with greenish shade at the base, Bóta-kő quarry (in 1996)

3. fénykép. Kissé kivastagodó vörös színű Polányi Márga rétegek maradványa az Ugodi Mészkő fedőjében, a nyereg környezetében (a kép középső felső részén), az 1. fénykép helyétől északra kb. 10 m-nyire, a tapolcafői, Bóta-kői kőbányában (2005. évi állapot)

Photo 3 Remnants of the red Polány Marl beds slightly thickening towards the saddle direction (in the middle upper part of the picture). The photograph is made 10 m to the north of the lithologic column shown in photo 1. Bóta-kő quarry, Tapolcafő (in 2005)

4. fénykép. Az előző képen látottaktól elütő, zöldesbarna és barnászöld agyagkitöltés a függőleges helyzetű, valószínűleg neogén eredetű, karsztos üregekben a Bóta-kői kőbánya északi falában (2005. évi állapot)

Photo 4 Karstic hole of vertical orientation in the Ugod Limestone, filled with greenish-brown and brownish-green clay of probable Neogene age in the northern cliff of the Bóta-kő quarry (in 2006) different from that of the photo 3

echinodermata, rudista kagylóhéj, vörösalga, Bryozoa, többnyire hyalin vázú (főként Lenticulina), és agglutinált foraminifera, Calcisphaera, a jelenleg bizonytalan besorolású *Pieninia oblonga* (lásd GRANIER 1986; MISÍK 1998) és korall ismerhető fel. A grainstone szövetű részen gyakori még az intraklaszt is. A mészkő felszíne (2. *fénykép*) egyenlőtlen mértékben erodált, visszaoldott, és a néhány m hosszúságú feltárt szakaszon legalább 1 m mélyre lenyúló karsztos üreget tartalmaz. A mészkő felszínét helyenként 1–2 mm vastag limonitos kéreg borítja, míg az üreget az alsó részén fakószürke, kissé zsíros tapintású agyag tölti (0. minta). Az üregkitöltés felső szintje felé közeledve a kitöltő anyag márgába megy át és egyúttal előbb rózsaszínűvé, majd vörössé válik (3. minta). A mintegy 4 m vastag vörös márga felszíni körülmények között fölfelé fokozatosan fakó szürkéssárga színűvé válik (1. *fénykép)*, és a továbbiakban ilyen marad a szelvény tetejéig (4–7. minta). A vörös színű Polányi Márga és az Ugodi Mészkő kontaktusa megtalálható még az 1. *fénykép* helyszínétől kb. 10 m-nyire északra is (3. *fénykép*). A kőfejtő talpán, az északi fal vertikális helyzetű üregeiben zöldes-barnás tónusú agyagkitöltés is megfigyelhető (4. *fénykép*), de vizsgálatuk hiányában ezek koráról nem nyilatkozhatunk.

Ásványtani jellegek

A pelites kőzetekből készített röntgendiffrakciós (KOVÁCS-PÁLFFY P.) és termoanalitikai (FÖLDVÁRI M.) vizsgálatok (*I. táblázat*) a karsztos üregkitöltés aljáról származó mintától eltekintve a rétegsor ásványos összetétele kis mérvű változékonyságot mutat. A domináns kalcit (max. 50, ill. 55%) után az agyagásványok összesített mennyisége a legnagyobb (a röntgendiffrakciós vizsgálatok szerint 20–27%, a termoanalitikai mérések szerint 17–22%). Az egyedüli említésre méltó különbség a két vizsgálati módszer eredménye között, hogy a mintákban a röntgendiffrakciós

I. táblázat. A Polányi Márga %-ban kifejezett ásványtani összetétele a tapolcafői Bóta-kői kőfejtő szelvényében röntgendiffrakciós (A – KOVÁCS-PÁLFFY) és termoanalitikai (B – FÖLDVÁRI M.) vizsgálatok alapján. (A *-gal jelölt értékek a kaolinit és klorit együttes mennyiségét adják)

Table I: Mineralogic composition of the Polány Marl in % based on X-ray diffraction (A – KOVÁCS-PÁLFFY, P.) and thermal analyses (B – FÖLDVÁRI, M.) in the Bóta-kő quarry section, Tapolcafő.

mintaszám	0		2		3		4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
montmorillonit	5	10	2	5	2	4	4	6
illit-montmorillonit	6		3				3	
illit/muszkovit	21	25	12	12	12	9	10	8
kaolinit	9	16*	3	5*	1	4*	2	6*
klorit	9		7		5		5	
kvarc	24		19		17		19	
gipsz			ny		ny		ny	
plagioklász	4							
kalcit	1		37	37	55	50	50	45
dolomit	14	17	13	10	8	9	5	10
goethit	ny	2	ny	2	ny			
hematit	1							
amorf	4		4				2	
anatáz	1							
rutil	1							

vizsgálat szerint az illit mellett muszkovit is van, míg a termikus vizsgálat csak az illitet jelzi. A kaolinit elhanyagolható mennyiségben fordul elő (1–3%). Az agyagásványokkal közel azonos mennyiségben fordul elő a kvarc (17–24%). Viszonylag gyakori a dolomit (5–13%), amely minden valószínűség szerint törmelékes eredetű. A kőzet vöröses tónusa a nyomokban, de max. 2%-ban jelen lévő goethittől ered, allit ásványokat ugyanakkor még nyomokban sem mutatott ki egyik módszer sem.

A karsztos üregből származó 0. minta gyakorlatilag kalcitmentes, miközben 14, ill. 17% dolomitot tartalmaz. Agyagásvány-tartalma kiugróan magas: 49, ill. 51%. Domináns alkotója az illit (21, ill. 25%), de itt a legnagyobb a kaolinit (9%) és a montmorillonit (5, ill. 10%) mennyisége. Figyelmet érdemlő, hogy csupán innen volt kimutatható plagioklász (4%), hematit, anatáz és rutil is.

Rétegtani viszonyok foraminifera és nannoplankton alapján

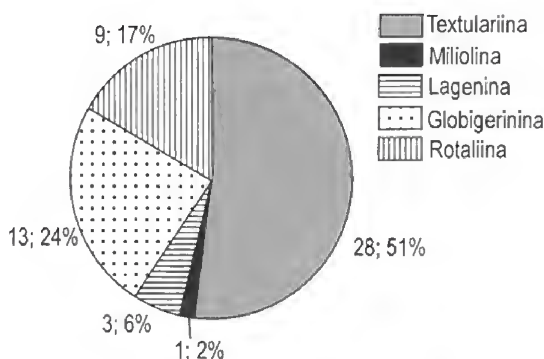
A bóta-kői Polányi Márga foraminiferáiról korábban mindössze két publikációban olvashattunk. Először Jaskó (1935) említi a *Rosalina canaliculata* Reuss fajt, ami újabban a felső-kréta jellegzetes *Globotruncana* nemzetségébe tartozik. Később Majzon (1961) a *Globotruncana*król szóló összefoglaló munkájában a plankton alakokkal együtt 34 foraminifera fajt sorolt fel. A Polányi Márga egyéb lelőhelyeiről Hantken (1884), Sidó (1963, 1973, 1980 in: Haas et al. 1984), Bodrogi et al. (1996) és Bodrogi & Bodnár (1989) közölt adatokat a foraminifera faunáról. Ábrázolást azonban csak az utóbbi publikációban találunk, és mindössze néhány fajról.

A vizsgált rétegsorban (*5. ábra*) a 0. minta kivételével valamennyi minta tartalmazott foraminiferát. A hagyományos hidrogénperoxidos oldás utáni iszapolási maradékban a foraminiferákat vastag agyagfilm borította, így meghatározásuk csak mikrohullámú fürdő után volt lehetséges.

A 2. minta a foraminiferákon kívül – melyek nagy része agglutinált forma – kevés inoceramus prizmát – vagy inkább csak tűt – is tartalmazott. A fiatalabb mintákra (3–8.) általánosan jellemző volt a plankton foraminiferák túlsúlya és nagymennyiségű inoceramus tű megjelenése. Az 5. mintában viszonylag sok az ostracoda, a 6. mintában radiolariák is előfordultak. A foraminifera fauna részletes vizsgálata a 2. illetve – a 3. minta kevésbé jó megtartása miatt – a 4. mintából történt. Összesen közel 90 taxont lehetett elkülöníteni, melyek őslénytani leírása megjelenés alatt van (Görög in preparation). A teljes foraminifera fauna az alábbi taxonokból áll: *Rhabdammina* sp., *Rhizammina* sp. *Ammodiscus cretaceus* (Reuss 1845), *Glomospirella grzybowskii* (Jurkiewicz 1960), *Glomospira charoides* (Jones & Parker 1860), *Haplophragmoides eggeri* Cushman 1926, *Spiroplectammina laevis* (Roemer), var. *cretosa* Cushman 1932, *Trochammina* sp., *Tritaxia amorpha* (Cushman 1926), *Tritaxia tricarinata* (Reuss 1845), *Tritaxia* sp. (costated), *Eggerellina inflata* (Franke 1928), *Verneuilina bronni* Reuss 1845, *Verneuilina limbata* Cushman 1936, *Verneuilina ornata* Cushman 1938, *Verneuilina* sp., *Heterostomella leopolitana* Olewski 1875, *Haplophragmium* sp., *Cyclammina* sp., *Arenobulimina preslii* (Reuss, 1845), *Arenobulimina* sp., *Ataxophragmium crassum* (D'Orbigny 1840), *Orbignyna simplex* (Reuss, 1851), *Voloshinovella aquisgranensis* (Beissel 1886), *Dorothia filiformis* (Berthelin 1880), *Dorothia pupa* (Reuss 1860), *Marssonella oxycona* (Reuss 1860), *Marssonella trochus* (D'Orbigny 1840), *Eggerella trochoides* (Reuss 1845), *Tritaxilina polygonalis* Marie 1941, *Clavulinopsis* sp.,

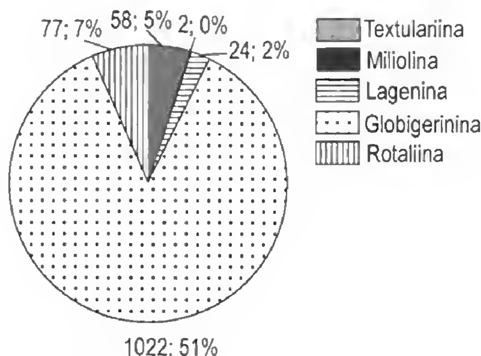
Textularia sp., *Quinqueloculina stolley* BROTZEN 1936, *Triloculina* sp., *Dentalina nana* REUSS 1862, *Nodosaria* cf. *multicostata* (D'ORBIGNY 1840), *Nodosaria zippei* REUSS 1844, *Pseudoglandulina cylindracea* (REUSS, 1845), Frondicularia archiaciana D'ORBIGNY 1840, *Lenticulina comptoni* (SOWBERY 1818), *Lenticulina microptera* (REUSS 1860), *Lenticulina truncata* (REUSS 1850), *Lenticulina* sp., *Saracenaria triangularis* (D'ORBIGNY 1840), *Neoflabellina rugosa rugosa* (D'ORBIGNY 1840), *Astacolus rectus* D'ORBIGNY 1840, *Marginulina* sp., *Planularia complanata* (REUSS, 1845), *Lagena* sp., *Ramulina aculeata* (D'ORBIGNY 1840), *Fissurina orbignyana* SEQUENZA 1862, *Glandulina* sp., *Spiroplecta globolosa* (EHRENBERG 1834), *Hedbergella holmdelensis* OLSSON, 1964, *Globigerinelloides aspera* (EHRENBERG 1834), *Contusotruncana patelliformis* (GANDOLFI 1955), *Contusotruncana plummerae* (GLANDOLFI 1955), *Globotruncana arca* (CUSHMAN 1926), *Globotruncana linneiana* (D'ORBIGNY 1839), *Globotruncana mariei* BANNER & BLOW 1960, *Globotruncana orientalis* EL NAGGAR 1966, *Globotruncana ventricosa* WHITE 1928, *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ 1955), *Globotruncana* sp., *Archaeoglobigerina cretacea* (D'ORBIGNY 1840), *Bolivinoides velascoensis* (CUSHMAN 1925), *Eouvigerina aculata* (EHRENBERG 1854), *Praebulimina ovolum* (REUSS 1845), *Ellipsoidella solida* (BROTZEN 1936), *Pleurostomella subnodosa* REUSS 1860, *Stilostomella* sp., *Cibicidoides*? *voltziana* (D'ORBIGNY 1840), *Nuttallinella florialis* (WHITE 1928), *Pullenia quaternaria* (REUSS 1950), *Pullenia reussi* CUSHMAN & TODD 1943, *Osangularia cordieriana* (D'ORBIGNY 1840), *Gyroidinoides nitida* (REUSS 1844), *Gyroidinoides umbilicatus* (D'ORBIGNY 1840), *Stensioeina granulata perfecta* KOCH 1977, *Stensioeina pommerana* BROTZEN 1936, *Gavelinella monterelensis* (MARIE 1941), *Gavelinella pertusa* (MARSSON 1878), *Gavelinella whitei* (MARTIN 1964), *Gavelinella* sp., *Pseudogavelinella clementiana* (D'ORBIGNY 1840).

A *Globotruncana ventricosa* és a *Neoflabellina rugosa rugosa* mindkét mintában történő együttes előfordulása alapján a képződmény a *G. ventricosa* zónába tartozik. A fajoknak csak közel 1/3-a közös, a plankton foraminiferák (13 faj) közül az *Archaeoglobigerina cretacea* az egyetlen, ami csak a 2. mintában fordul elő. Mindkét mintára a *Globigerina*, ezen belül a *Globotruncana*-félék túlsúlya a jellemző (*6, 7. ábra*). A *Globotruncanákon* belül az egyes fajok közel azonos mennyiségben vannak jelen. Lényeges különbség van azonban a faunában betöltött szerepükben. A 2. mintában (*6. ábra*) a plankton formák mennyisége kevesebb, mint 30%, míg a 4. mintában (*7. ábra*) több mint 80%. Fordítottan igaz ez az agglutinált formákra, amelyek a 2. mintában 70%-t érnek el, a 4. mintában mindössze 5%-ot. A 2. minta agglutinált formái nagy diverzást mutatnak, a taxonok több mint fele tarozik ide. A leggyakoribb agglutinált formák a *Verneuilina bronni*, a *V. ornata*, a *Tritaxia tricarinata*, az *Ataxophragmium* spp. és az *Arenobulimina preslii*. A 2. mintában a *Lagenina* és a *Rotaliina* fajok ritkák, a 4. mintában gyakoribbak (5, illetve 7%). Itt igen diverzek, a két csoport taxonjainak mennyisége több mint a negyede (26, illetve 28%) a teljes faunának. A miliolina-félék mindkét mintában rendkívül alárendelt szerepet játszanak. A foraminifera fauna alapján a vizsgált rétegsor alsó része (2. minta) a tápanyagban gazdag középső–külső neritikus övben rakódott le, ami nagyon gyors tengerszint-emelkedésre, esetleg időleges üledékelsodrásra utalhat. A rétegsor felső szakasza (3–8. minta) ennél mélyebbvízi környezetben, a külső neritikus – felső bathyalis övben képződhetett. Ezt támasztja alá a hidegebb (mélyebb) vizet kedvelő plankton foraminiferák (*Globotruncana arca, G. mariei, G. orientalis, Contusotruncana patelliformis, Spiroplecta globolosa, Globigerinelloides aspera*) túlsúlya (ABRAMOVICH et al. 2003).



6. ábra. A foraminifera csoportok egyedszámának eloszlása a bóta-kői Polányi Márga szelvény 2. mintájában

Fig. 6 Ratio of the Foraminifera group specimen in sample number 2 of the Polány Marl Formation, Bóta-kő quarry, Tapocafő



7. ábra. A foraminifera csoportok egyedszámának eloszlása a bóta-kői Polányi Márga szelvény 4. mintájában

Fig. 7 Ratio of the Foraminifera group specimen in sample number 4 of the Polány Marl Formation, Bóta-kő quarry, Tapocafő

A nannoplankton a vizsgált szelvényben sajátos eloszlást és megjelenési módot mutat. A Polányi Formáció itteni legalsó (üregkitöltő) 0. mintája sem nannoplanktont, sem egyéb ősmaradványt nem tartalmaz. A fölötte települő vörös márga (3. minta) a felső-krétában általánosan előforduló nannoplankton formákat tartalmaz, de erősen mállott, rossz megtartási állapotban. Közülük a *Prediscosphaera cretacea* (ARKH.) faj SISSINGH (1977) zónabeosztása szerint a campani korszak CC–18-as [*Broinsonia parca* (SISSINGH 1977)] zóna középső része alatti rétegekből nem került elő.

A szelvény magasabb részét képviselő minták (4–7.) a 3. mintában megismertekhez hasonló nannoplankton együttest tartalmaznak. Meglepő ugyanakkor, hogy az elvárható taxon- és egyedszám növekedéssel szemben a 6. és a 7. mintában a taxonszám csökkenése tapasztalható, jóllehet új taxon is megjelenik. Az *Aspidolithus parcus parcus* (STRADNER) faj alapján a Polányi Márga szelvényben feltárt szakasza nagy valószínűséggel a CC–18–19-es zónákba tartozik, mivel ez a faj ennél sem idősebb, sem fiatalabb rétegekből nem ismert. Ennek valószínűségét növeli az a körülmény is, hogy a *Ceratolithoides aculeus* (STRADNER) és a *Quadrum sissinghi* PERCH-NIELSEN fajok hiányoznak az itteni rétegsorból, jóllehet ezek a középső-campaniban megjelenő, gyakorinak tekinthető fajok – az előbbi a CC–20-as zóna kezdetétől, az utóbbi a végétől.

HARDENBOL et al. (1998) szerint a *Globotruncana ventricosa* zóna alsó határa 79,66 millió évnél, míg a CC–19 zóna felső határa 79,50 M évnél húzódik, vagyis bármennyire hihetetlenül hangzik a két zóna mindössze 160 ezer éves átfedésben van,

II. táblázat. A Polányi Márga nannoplankton eloszlása a tapolcafői Bóta-kői kőfejtő szelvényében (KOLLÁNYI K. vizsgálatai szerint)
Table II: Nannoplankton distribution in the Polány Marl section of the Bóta-kő quarry, Tapolcafő (Analyses made by KOLLÁNYI)

Mintaszám	0	3	4	5	6	7
Aspidolithus parcus parcus (STRADNER)	-	-	kevés	kevés	-	-
Biscutum sp.	-	-	kevés	kevés	kevés	-
Braarudosphaera bigelowi (GRAN et BRAAR.)	-	kevés	-	-	-	-
Cribrosphaerella ehrenbergi (ARKH.)	-	kevés	kevés	kevés	kevés	kevés
Cyclogelosphaera margelii NOEL	-	kevés	kevés	kevés	kevés	-
Eiffellithus turriseffelii (DEFLANDRE)	-	kevés	kevés	kevés	kevés	-
Glaukolithus compactus (BUKRY)	-	-	-	kevés	-	-
Lucianorhabdus arcuatus FORCHEIMER	-	kevés	-	-	-	-
Lucianorhabdus cayeuxii DEFLANDRE	-	-	kevés	-	-	-
Prediscosphaera cretacea (ARKH.)	-	kevés	kevés	kevés	-	-
Vekshinella angusta (STOVER)	-	-	-	-	-	kevés
Watznaueria barnesae (BLACK)	-	közepes	közepes	közepes	közepes	közepes
Watznaueria biporta BUKRY	-	-	kevés	kevés	kevés	kevés

tehát a plankton foraminifera és a nannoplankton vizsgálatok alapján a Polányi Márga Bóta-kői bázisrétegeinek korát a CC–19 zóna legvégén és a *G. ventricosa* zóna képződésének legelején, vagyis a középső-campani alkorszak korai szakaszában jelölhetjük ki. A fekü Ugodi Mészkő rétegsor hasonló jellegű vizsgálatának hiányában a lepusztulásból és a képződés hiányából fakadó üledékhiány mértéke nem adható meg. HAAS J. véleménye szerint (szóbeli közlés) a vizsgálat tárgyát képező tarka márga még nem nevezhető Polányi Márgának, csak az Ugodi-Polányi Formáció átmenetének, mert efölött még visszajöhet az Ugodi Mészkő jellemző kalkarenitje. A változás nagyon markáns jellege, a foraminiferatartalom alapján becsült erőteljesen növekvő vízmélységből nem 4. vagy 5. rendű hanem 3. rendű ciklus hatása olvasható ki, ezért úgy véljük, hogy itt már a Polányi Márgával állunk szemben. Erre utal a képződmény numerikus kora (geológiai időskála szerinti év) is, ami közel 80 millió évesnek adódik (*8. ábra*). HAAS (1999b) szelvényében a 80 millió év a Polányi Márgának a Gannai Tagozata alatti részét képviseli, ahol Ugodi Mészkövet a 3. ábrájában maga sem ábrázol.

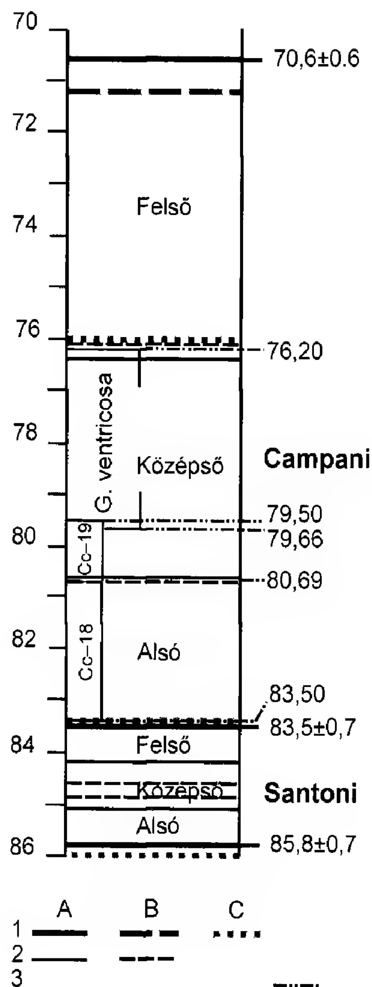
Diszkusszió

A denudációs, eróziós okokra visszavezethető üledékhézag létezését a visszaoldott és karsztos felszín, a fosszília- és kalcitmentes üregkitöltés egyértelműen bizonyítja. Erősíti e megállapítás hitelességét a bázisrétegek vörös színe, az üregkitöltésben a színezőanyag hematitos eredete, valamint az üregben mutatkozó, az átlagosnál nagyobb kaolinittartalom. Ugyanakkor a várakozásunkkal ellentétben teljes egészében hiányoznak a bázisrétegekből a bauxitásványok. Az illit és illitmontmorillonit viszonylagos gyakorisága az agyagásványok között az üledék alapvetően tengeri környezetben történt lerakódását jelzi. Ugyanakkor a 10%-ot meghaladó, tehát számottevő menyiségű dolomittartalom a triász dolomitnak a nem túlságosan távoli környezetben az erózióbázis szintje fölötti helyzetét, és az onnan történő áthalmozást is kétségtelenné teszi. A szárazföldi eredet azonban csak

a fosszíliamentes üregkitöltő, valamint az azt közvetlenül fedő 2. minta esetében tekinthető bizonyítottnak. Ezek ásványtani összetétele – vagyis a kaolinit kis mennyisége és az allit ásványok teljes hiánya – ugyanakkor azt is jelzi, hogy a szárazulati állapot csak nagyon rövid ideig állhatott fenn, továbbá, hogy a tengerelöntés nagyon gyorsan zajlott le. Miután ez a rétegsor a kőfejtőnek az ÉNy-i részére korlátozódik, mint HAAS (1979) szelvényéből és leírásából is tudjuk, és részben ma is láthatjuk, a kőfejtő más pontjain a platform és a medence rétegsora között folyamatos vagy folyamatosnak tekinthető az átmenet, az üledékhézagos terület nagyon korlátozott elterjedésű lehetett. Erre utal a nagyon kis kvarctartalom, valamint a karbonát és agyagásványok melletti egyéb alkotók szerény mennyisége. A földpáttartalomnak egy sziget vagy félsziget jellegű területen a tengerelöntés előtti (legalsó) rétegben (2. minta) való előfordulása ugyanakkor arra utalhat, hogy hasadékkitöltés és a kisebb lokális szárazföldi mélyedések pár cm vastag anyaga távoli vulkán portufájából is származhat. Ezt a feltételezést erősíti még a viszonylag nagy montmorillonit-tartalom, továbbá a kimutatási határ fölötti mennyiségű anatáznak és rutilnak erre az egyetlen mintára korlátozódó előfordulása.

A foraminifera együttes tápanyagban gazdag környezetet jelez. A foraminifera és a nannoplankton alapján ugyan korkülönbséget a 2–3. minta között nem lehetett kimutatni, de jelentős az összetételbeli eltérés, vagyis az üledékképződési környezetben számottevő különbség lehetett.

A 3. mintának és a fölötte települő rétegeknek az ősmaradványtartalma alig mutat különbséget, ami arra utal, hogy ettől kezdve az üledékgyűjtőnek ezen a részén a további néhány méter képződése idején már nem volt olyan mérvű vízszintemelkedés, amely a mikrofaunával kifejezésre juttatható változást okozott volna. Az őslénytani vizsgálatok szerint tehát a szárazulattá válás és hézag utáni pelites üledékképződés is a késő-kréta késő-santoni–



8. ábra. A santoni és campani korszakok felosztása HARDENBOL et al. (1998) és GRADSTEIN et al. (2004) nyomán a HAAS (1999b) által használt felosztás feltüntetésével. Jelmagyarázat: 1. emelethatár; 2. alemelethatár; A – GRADSTEIN et al. 2004; B – HARDENBOL et al, 1998; C – HAAS 1999b nyomán; 3. zónahatár

Fig. 8 Stratigraphic chart of the Santonian and Campanian time interval with numerical ages after HARDENBOL et al. (1998) and GRADSTEIN et al. (2004) with indication of the chart used by HAAS (1999b). Explanation: 1 Stage boundary; 2 Sub-stage boundary; A – after GRADSTEIN et al. 2004; B – after HARDENBOL et al, 1998; C – after HAAS 1999b; 3 Zone boundary

kora-campani CC–18 vagy kora-, középső-campani korszakának CC–19 zónája idején következett be.

A fent ismertetett, vélhetően rövid, de az Ugodi Mészkő legfelső rétegei pontos korának ismerete nélkül meg nem határozható idejű szárazulati üledékhézaggal állhatott kapcsolatban a HAAS (1979) által a Bóta-kő DK-i szelvényéből leírt csatorna kitöltés is, benne a vörös színű, de plankton ősmaradványokat is tartalmazó márga közbetelepüléssel. A közeli szárazulat hatását a szárazföldről és a tengeralatti platformról származó üledék – benne az ősmaradványokkal – híven dokumentálja.

A medencefejlődés 1979-ben felvázolt folyamatát lényegesen módosítva HAAS (1999b) a *10. ábrán* a 3. és 4. rendű ciklusok feltüntetésével, de kronosztratigráfiai adatok nélkül szemlélteti. Ezzel szemben a 3. ábráján látható litosztratigráfiai táblázata kronosztratigráfiai alapú. Fejlődéstörténeti magyarázata azonban nem harmonizál egyértelműen az utóbbi ábrával. Megállapítja ugyanis, hogy a „...lacustrine and paludal deposition...was followed by an abrupt facies change in the second evolutionary stage, at the end of the Santonian, which led to inundation and the establishment of shallow neritic brackish-water conditions in both sub-basins" A 3. ábráján azonban ez az esemény a kora-santoni végére esik. Ugyanakkor helyesen állapította meg ugyanitt, hogy az Ugodi-hátságot – amelynek középvonalában fekszik a vizsgálatunk tárgyát képező, szerkezeti vonalak által lehatárolt Bóta-kői tömb is – a santoni legvégén elborította az emelkedő tenger, létrehozva ott a karbonátplatformot. Ez időben egybeesett a medencében a Jákói Márgának a Polányi Márgába történt átmenetével. Ehhez az elöntéshez kapcsolódik a Jákóhegyi Breccsa képződése az Ugodi-hátság DK-i lejtője mentén. A következő harmadrendű ciklus kezdeti stádiumához rendeli a karbonátplatform méretének erőteljes csökkenését, az esemény időpontjának megadása nélkül, míg az újabb, középső-campani alkorszak során lezajlott tengeszint-emelkedés következményének tudja be az Ugodi-platform végleges megfulladását.

A fentiekből is láthattuk, hogy a transzgresszió és regresszió változása egyértelműen a relatív tengerszintváltozásokhoz köthető. A campani korszakon belül HARDENBOL et al. (1998) 9 szekvenciát állapított meg, melyek sorában a Cam5 jelzésűnek az alsó határát 79,77 millió évnél húzták meg. Időtartama (2,59 millió év) és egyúttal a relatív tengerszintváltozás amplitudója tekintetében ez a legjelentősebb campani szekvencia. Ezek az adatok jó egyezést mutatnak a Polányi Márga itteni szelvénybeli legidősebb korával (a *Globotruncana ventricosa* zóna kezdete és a CC–19 zóna vége), ezért nincs okunk kételkedni abban, hogy a Cam5 jelű szekvenciához köthető a bakonyi késő-kréta karbonátplatform legkiemeltebb helyzetű részeinek szárazra kerülése és kapcsolódó eróziója, amire a Bóta-kői kőfejtő fentiekben ismertetett szelvénye az eddigi egyetlen példa.

Következtetések

1. A fentiekben bizonyítást nyert, hogy a vizsgált Bóta-kői szelvényben a Polányi Márga képződése a késő-kréta campani szakaszában, a *Globotruncana ventricosa* zónának megfelelő időintervallumon belül vette kezdetét, vagyis innen hiányzik a formációnak egyéb helyekről ismert legalsó szintje.

2. Az Ugodi Mészkő eróziós, denudációs felszíne és karsztos üregkitöltése azt jelzi, hogy a *Globotruncana ventricosa* zóna képződése előtt, vagyis a CC–19 nannoplankton zóna által képviselt időtartamon belül, tehát a Cam4 szekvencia képződésének végén – egy rövid idejű vízszintesés során a tapolcafői Bóta-kő tömbjének egy része az erózióbázis szintje fölé került.

3. A szárazra kerülést és a kis mérvű karsztosodással is járó eróziót gyors és jelentős mérvű relatív tengerszint emelkedés követte, amelynek mértékét a plankton foraminiferák változása egyértelműen igazolja.

4. Az üregkitöltés ásványtani összetétele arra utal, hogy gyenge (távoli forrásból származó) tufaszórás a területen nem csupán a késő-kréta üledékciklust megelőző időben zajlott, hanem még a campani korszak során is történhetett tufaszórás.

Köszönetnyilvánítás

Az anyagvizsgálatok terén nyújtott segítségéért FÖLDVÁRI Máriának (termikus vizsgálatok) és KOVÁCS-PÁLFFY Péternek (röntgendiffrakciós mérések), az ábrák kivitelezéséért SIMONYI Dezsőnek és PAULHEIM Gáspárnak, a kézirat érdemi bírálatáért HAAS Jánosnak és KNAUER Józsefnek tartozunk köszönettel. A tanulmány létrejöttét az OTKA T 037510 sz. projektje támogatta.

Irodalom – References

ABRAMOVICH, S., KELLER, K., STÜBEN, D. & BERNER, ZS. 2003: Characterization of Late Campanian and Maastrichtian planktonic foraminiferal depth habitats and vital activities based on stable isotopes. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **202/1–2**, 1–29.

BARNABÁS, K. 1970: Die vergleichende Untersuchung der charakteristischen Bauxitlagerstötten des Mittelgebirges von Dunántúl. – *MÁFI Évkönyve* **54/3**, 69–93.

BEUDANT, F. S. 1825: Voyage mineralogique en Hongrie, pendant l'année 1818. Paris 597 p, 2 tábla

BIHARI D. 1971: Ugod. A Bakony hegység 20 000-es földtani térképsorozata – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest

BIHARI D. 1981: Ugod. – Magyarázó a Bakony hegység 20 000-es földtani térképsorozatához. MÁFI Budapest, 52 p

BODROGI, I. & BODNÁR, E. 1989: Foraminifera fauna of the Polány Marl Formation. – *MÁFI Évi Jelentés az* **1988**. *évről*, II. rész. 175–191, 5 pls.

BODROGI, I., FOGARASI, A., YAZIKOVA, E. A., SZTANÓ, O. & BÁLDI-BEKE, M. 1998: Upper Cretaceous of the Bakony Mts. (Hungary): sedimentology, biostratigraphy, correlation. – *Zbl. Geol. Paläont.* Teil I (1996) **11/12**, 1179–1194.

CSÁSZÁR G. (szerk) 1996: Kréta. – Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Budapest, 163 p.

CZABALAY L. 1982: A Sümeg környéki rudista fauna. – *Geol. Hung. Ser. Pal.* **41**, 221 p.

FŐZY I. 1998: Campanian (Late Cretaceous) cephalopods from Sümeg (Transdanubian Central Range, Hungary) – *Fragmenta Palaeontologica Hungarica* **19**, 25–37.

GÓCZÁN, F. & SIEGL-FARKAS, Á. 1990: Palynostratigraphical zonation of Senonian sediments in Hungary. – *Review of Palaeobotany and Palynology* **66**, 361–377.

GRADSTEIN, F., OGG, J. & SMITH, A. 2004: A Geologic Time Scale 2004 – Cambridge University Press, 589 p.

GRANIER, B. 1986: Les Pieninia oblonga BORZA & MISIK, 1976 sont – elles des scleritesd'Alcyonaries – *Revue de Micropaleontologie* **29/2**, 103–108

HAAS J. 1979: A felsőkréta Ugodi Mészkő Formáció a Bakonyban. – *MÁFI Évkönyve* **61**, 171 p.

HAAS, J. 1983: Senonian cycle in the Transdanubian Central Range. – *Acta Geologica Hungarica* **26/1–2**, 21–40.

HAAS J. 1996a: Polányi Márga Formáció. – In: CSÁSZÁR G. (szerk.) 1996: Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Kréta. 74–75.

HAAS J. 1996b: Ugodi Mészkő Formáció. – In: CSÁSZÁR G. (szerk.) 1996: Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Kréta. 72–73.

HAAS, J. 1999a: Late Cretaceous isolated platform evolution in the Bakony Mts., Hungary – *Geologica Carpathica* **50/3**, 241–256.

HAAS, J. 1999b: Genesis of Late Cretaceous toe-of-slope breccias in the Bakony Mts., Hungary – *Sedimentary Geology* **128**, 51–66

HAAS J. (ed.) 2001: Geology of Hungary. – Eötvös University Press, Budapest, 317 p.

HAAS J. & JOCHA-EDELÉNYI E. 1979: A dunántúli-középhegységi felsőkréta üledékciklus ősföldrajzi elemzése. – *MÁFI Évi Jelentése az* **1977**. *évről* 217–224.

HAAS J., JOCHA-EDELÉNYI E., GIDAI L., KAISER M., KRETZOI M. & ORAVEZ J. 1984: Sümeg és környékének földtani felépítése. – *Geologica Hungarica series Geologica* **20**, 365 p., 94 figs, 57 pls.

HANTKEN, M. 1884: A Clavulina szabói rétegek az Euganeák és a tengeri-Alpok területén és a krétakorú „Scaglia" az Euganeákban. – *Értekezések a Természettudomány Köréből* **13**, 47 p., 4 tábla

HARDENBOL, J. THIERRY, J., FARLEY, M. B., JACQUIN, T., DE GRACIANSKY, P. C., & VAIL, P. R. 1998: Cretaceous biochronostratigraphy. In: DE GRACIANSKY, P. C., HARDENBOL, J., JACQUIN, T. & VAIL, P. R. (eds): Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European Basins. – *SEPM Special Publication* **60**.

HAUER, F. 1862: Über die Petrefakten der Kreideformation des Bakonyer-Waldes. – *Sitzungsberichte K. Acad. Wiss. Wien* **44**, 631–659.

JASKÓ S. 1935: A Pápai-Bakony földtani leírása. – Bölcsészetdoktori értekezés, Pázmány Péter Tudományegyetem, Kézirat 41 [1] p.

KNAUER J. & GELLAI M. B. 1978: A szenon képződmények elrendeződése és kapcsolata az ősdomborzattal a Sümeg–Káptalanfa bauxitkutatási területen. – *Földtani Közlöny* **108/4**, 444–475.

KOCH A. 1871: A Bakonyhegység nyugati részének felső-kréta képlete. – *Földtani Közlöny* **1**, p. 12.

MAJZON L. 1961: A magyarországi globotruncanás üledékek. – *MÁFI Évkönyve* **49/3**, 593– 633.

MISÍK, M. 1998: Pieninia oblonga – skeletal parts or endoparasites of Keratosa sponges. – *Geologica Carpathica* **49/6**, 4001–407

SIDÓ M. 1963: A magyarországi szenon képződmények szintezése foraminiferák alapján. – *Földtani Közlöny* **93/2**, 217–226.

SIDÓ, M. 1973: Biostratigraphic importance of Cretaceous Foraminifera in Hungary. – *Őslénytani Viták (Discussiones Palaeontologicae)* **21**, 91–104.

SIDÓ M. 1974: Az ugodi formáció Foraminifera társulása. – *Földtani Közlöny* **104/2**, 288–317.

SIDÓ M. 1980: A magyarországi tengeri szenon formációk szintezése (plankton) Foraminiferák alapján. – MÁFI Adattár. Kézirat, 10 p.

SIEGL-FARKAS, Á. 1997: Dinoflagellate stratigraphy of the Senonian formations of the Transdanubian Range. – *Acta Geologica Hungarica* **40/1**, 73–100, pls. 8.

SISSINGH, W 1977: Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplakton. – *Geologie en Mijnbouw* **56**, 37–65

SZANTNER, F. & SZABÓ, E. 1970: The structural-geological conditions and history of development of Hungarian bauxite deposits. – *MÁFI Évkönyve* **54/3**, 109–129.

Kézirat beérkezett: 2006. 10. 24.

Földtani Közlöny 137/1, 17–22. (2007) Budapest

Misztbánya (Nistru, Románia) rézszulfidos teléreinek piritkristályai

Pyrite crystals in the copper-sulphide veins at Nistru Mine (Romania)

RÉTHY Károly[1]

(2 ábra)

Tárgyszavak: ásványtan, piritkristályok, Misztbánya, Románia
Keywords: mineralogy, pyrite crystals, Nistru, Romania

Abstract

Cubic pyrite crystals are present in the deeper copper-sulphide rich portion of the epithermal veins of the Nistru Mine (Misztbánya). At these deeper levels of the mine, the mineral assemblage includes adularia, magnetite, molybdenite and there are higher Sn, Bi and W values. The presence of Ni and detectable Co concentrations in the pyrite crystals indicate higher temperatures, the proximity of magma, and alkaline-neutral pH conditions. Fluid inclusion formation temperatures of 250–275 °C confirm that there were higher temperatures this vein environment. Breakage of crystals of various mineral phases demonstrates ongoing tectonic activity subsequent to mineralization, and the corrosion of these crystals shows that pH conditions changed with subsequent hydrothermal activity. At intermediate levels in the vein system crystals of pyrite commonly have cubic octahedral forms, or combinations of cubic, octahedral and dodecahedral forms. These are coupled with detectable arsenic values in the pyrite. Here the fluid temperatures were lower and pH conditions different than at deeper levels. At the highest levels of the vein system can be found silver-rich galena, bournonite, marcasite, scalenohedral calcite, higher Sb values and Se, Te and Tl contents can be detected in pyrite. Furthermore the predominance of the dodecahedral form of pyrite indicate that the final and coolest epithermal fluids were responsible for mineralization. Sparkly trapezohedral faces appear on pyrite only in this portion of the veins. At the various depths at which copper-sulphide ore bodies occur throughout the mine, the mineral assemblage and the distribution of trace elements suggest that with variable pH and pressure conditions, pyrite crystal morphology follows a zonal pattern.

Összefoglalás

Misztbánya epitermás eredetű Cu-szulfidos teléreinek mélyebb öveiben, hexaéder habitusú piritkristályok voltak jelen. Az itt előforduló paragenezisek és az egyes ásványok, mint az adulár, magnetit, molibdenit, illetve a Sn, Bi, és a piritben a Co, Ni nyomelemek jelenléte, nagyobb hőmérsékletű, magma közeli mezotermás érckpződésre, valamint lúgos-semleges pH-viszonyokra utalnak. Ezt jelzi a kvarczárványok 250–275 °C-os képződési hőmérséklete és egyedi mintákban a W jelenléte is. Az egyes formákon látható töredezések a képződés utáni földtani mozgásokat, a részbeni korrodálódás pedig a fluidum megváltozott pH-visonyait jelzik. Az alsó öv feletti szinteken, ahol a piritkristályokon az (100) és (111), majd az (100), (111) és (210) formakombinációk alakultak ki, az As jelenléte a piritben, már csökkent hőmérsékletre és megváltozott pH-viszonyra utal. A legfelső övben pedig az ezüstben gazdag galenit, a bournonit, markazit, szkalenoéderes kalcit, a Sb, valamint a piritben a Se, Te és Tl jelenléte, s a felsorolt ásványokkal paragenezisben lévő (210) habitusú piritkristályok már enyhén savas-semleges-lúgos pH-viszonyok mellett, az érckpződés utolsó epitermás fázisáról tanúskodnak. A piritkristályokon, a (211) apró fényes lapok is csak ekkor jelentek meg.

Tehát az itt lévő Cu-szulfidos érctestek különböző mélységi öveiben talált egyes ásványok, ásványparagenezisek és nyomelemek arra utalnak, hogy a piritkristályok kristályformái, formakombinációi, a hőmérséklet, nyomás és pH változásai mellett meghatározott sorrendben követték egymást.

[1] 1046 Budapest, Dunakeszi u. 6, 3/10

Bevezetés

A földtani kutatás során több olyan genetikai és ásványmorfológiai információ halmozódott fel, melyeket a földtani, teleptani és ásványtani kutatásokban ma is jól lehet hasznosítani. Ilyen információhordozók például azok az ásványformák, melyek megbízható ún. földtani hőmérőként alkalmazhatók, míg mások a fluidum pH-értékére utalnak. A belső szerkezet mellett ugyanis, a keletkezési körülmények határozzák meg egy adott ásvány típusát, habitusát (TOKODY 1931). Azonban, még ma is vannak olyan, nem teljesen tisztázott összefüggések, melyek az egyes ásványok habitusának és formakombinációinak kialakulását befolyásolják. Ilyennek mondhatók a hidrotermás érctestekben képződött piritkristályok alakváltozását előidéző genetikai tényezők.

A pirit, FeS_2 kristályrácsát 1913–14-ben W. L. BRAGG angol fizikus határozta meg. A piritnek szabályos rendszerű C2 típusú atomrácsa van, melyben a Fe-atomok és a S_2-gyökök torzult kősó típusú szerkezetet hoznak létre, ahol a S_2-gyökök S–S távolsága 217 pm. A markazit szerkezete pedig a rutilszerkezetnek egy változata, ahol a S_2-gyökök S–S távolsága 221 pm (GREENWOOD & EARNSHAW 1999).

A pirit, amely a legközönségesebb ásványok egyike, nagyon változatos körülmények között képződhet, ezért „átfutó" ásványként is említik. A hidrotermás érctestekben minden mélységi övben és képződési szakaszban igen jelentős szerepet tölthet be (KOCH & SZTRÓKAY 1967). Itt az üregekben megjelenő szépen fejlett kristályok is gyakoribbak.

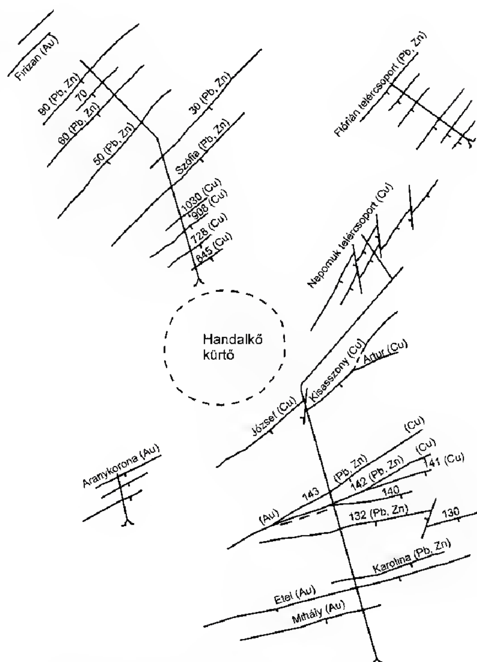
Sokan próbálták már kideríteni azokat az összefüggéseket, melyek a hidrotermás folyamatban, a pirit habitusa és keletkezési körülményei, illetve paragenezise között fennállnak. A hidrotermás eredetű piritkristályok egy érctesten belüli habitusváltozásairól, és a genetikai körülményeik közti összefüggéseiről SUNAGAWA (1957) japán kutató is értekezett. PETRULIAN (1973) szerint a pirit, kedvező hőmérséklet, nyomás és elégséges fluidummennyiség esetén (210) vagy (111) habitussal jelenik meg. Ezen tényezők valamelyikének kedvezőtlen változása esetén a (100) formát veszi fel. Azonban ez a megállapítás, figyelmen kívül hagy más fontos tényezőket, mint a fluidum pH-viszonyának változását, továbbá az oldatban és a könnyen illó anyagokban található atomok, ionok koncentrációját, az érctesteket befogadó kőzetek milyenségét, és az ott található anyagok reakcióképességét, melyek az ismert faktorok mellett, a kristályosodás folyamatában szintén fontos szerepet játszhatnak. Ezek azok a tényezők, melyek adott körülmények között meghatározhatják, hogy milyen ásványok, ásványtársulások és kristályhabitusok jönnek létre. Erre keressük mi is a választ a Nagybányához közel fekvő Misztbánya mezo-epitermás Cu-szulfidos teléreiben képződött piritkristályok morfológiája, paragenezise és kristályosodási körülményei közötti összefüggések megfigyelése alapján. E dolgozatban az itt képződött piritkristályok formagazdagságát, paragenzisét és képződési körülményeit mutatjuk be.

A misztbányai Cu-szulfidos telércsoport és ásványai

Nagybányától 8 kilométerre északnyugatra, a Handal-kő alatt elnyúló Kisasszony-patak völgyében találhatók Misztbánya főbb Cu-szulfidos érctelérei: a Kisasszony, József-, Arthur- és a Nepomuk (I–IV) telércsoport (*1. ábra*). Ezek a

neogén vulkanizmushoz kapcsolható ÉK–DNy csapásirányú, 600–1000 m hosszú, és 68–85° közti, DK-i dőlésű érctestek, erős átalakulást (szericites, propilites, agyagásványosodást) mutató piroxénandezitben, valamint felső-badeni és alsó-szarmata üledékes kőzetekben (agyag, márga, agyagmárga) vannak jelen (RÉTHY 1998).

Az érctestek átlagos vastagsága 1,4 méter, de helyenként az 5–6 métert is elérték, réztartalmuk pedig 2–4%. A kitermelt érc átlagosan 1,5 g/t aranyat és 60–70 g/t ezüstöt is tartalmazott. Az ÉK-i részeken, főképp a József- és Nepomuk-telércsoportnál, ahol a korábban kialakult érctestekben túlnyomásos övezetekre jellemző breccsás zóna alakult ki, és a breccsásodott ércet itt-ott galenit-, szfaleritfészkek, -erek, valamint nemesfémben (Au, Ag) gazdag kvarcerek sűrű hálózata szőtte át, az arany és ezüstdúsulás sokkal nagyobb volt. Itt a pirit 4–5 g/t aranyat és 28 g/t ezüstöt, míg a kalkopirit 5 g/t aranyat és 133 g/t ezüstöt tartalmazott (MEZŐSI 1949). Ezekben a tektonikai mozgásoktól töredezett és diagonális diszkordáns vetők által felszabdalt érctestekben, több ütemben képződött ásványtársulások figyelhetők meg. Képződésükben jelentős szerepe volt az ércesedés idején fel-felújuló tektonikai mozgásoknak.



1. ábra. A Cu-szulfidos telérek helyzete a vulkáni kürtőhöz viszonyítva

Fig. 1 The position of Cu-sulfide veins in compared to the volcanic crater

Az itteni érctesteknek a felső, aranyban gazdag részeit, a felszíntől 20–30 méter mélységig, valamikor az ókorban vagy a középkorban termelték ki.

Ezekben a telérekben a legközönségesebb, legelterjedtebb ásvány a pirit, kalkopirit, kvarc és a kalcit. A felszínhez közeli régiókban, kisebb mennyiségben, fészkekben, hintett vagy érhálós formában jelen volt még: az adulár, magnetit, molibdenit, galenit, szfalerit, tetraedrit, digenit, pirrhotin, covellin, kalkozin, bornit, bournonit, markazit, barit, arany, ezüst, gipsz és kaolinit. MIHÁLKA I. 171 ércmintán emissziós színképelemzéssel végzett geokémiai vizsgálatai, melyet a nagybányai bányászati kutató és tervező intézet (Institut de Cercetare şi Proiectare pentru Minereuri Neferoase – ICPMMN) laboratóriumában végzett, ppm-ben az alábbi nyomelem mennyiségeket mutatta ki: As (726), Sb (154), Sn (62), Bi (40), Ga (37), Se (36), Te (28), Ni (15), Co (13), In (13), Cd (11), Mo (8), Tl (6) és Ge (2). Egyes mintákban kimutatható volt még a Ti, V és W is. A 17 piritmintában kimutatott nyomelemek megjelenési gyakorisága %-os arányban, a következő volt: Ni (100), Co (100), Se (100), As (96), Te (23). A Tl csak egyes mintákban és a markazitban volt kimutatható (RÉTHY et al. 2006).

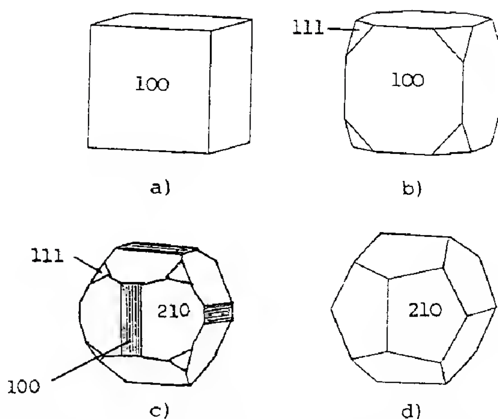
Az ásványtani és geokémiai vizsgálatok azt mutatják, hogy ezeknek az érctesteknek a kialakulása 100–275 °C hőmérsékletű hidrotermás folyamatokhoz kapcsolódik. A hagyományos hidrotermális szemlélet szerint, fellelhetők mind a mezo-, mind az epitermális fázis nyomai. Amely a korszerű szakirodalmi terminológia szerint a felszínközeli terresztikus, az ún. „alacsony szulfidizációs fokú epitermális rendszerbe" tartozik (MOLNÁR 1997). Magasabb hőmérsékletűércképződésre és a fluidum semleges, enyhén savas voltára utal, az ércben található adulár, magnetit, molibdenit, Sn, Bi és a piritben a Ni, Co jelenléte. Ezt támasztja alá az egyes mintákban megjelenő W. Erre utal a kvarczárványok 250–275 °C-os képződési hőmérséklete is (POMARLEANU 1961). A felső régiókban, As jelenléte a piritben, amely 2500 ppm átlagértékkel a legtöbb piritmintában kimutatható volt, már csökkent hőmérsékletre és a fluidum enyhén savas-semleges-lúgos voltára utal (KOCH & SZTRÓKAY 1967). Az itt található ásványok egy része, mint a kis mennyiségben fellelhető ezüstben gazdag galenit, bournonit, valamint a markazit, kaolinit, a szkalenoéderes kalcit, a Sb, és a piritben a Se, Te és a Tl jelenléte szintén enyhén savas-semleges pH-viszonyokat, és késői alacsony képződési hőmérsékletet jelez. A keletkezési hőmérséklet csökkenésével a Se és Te mennyisége is csökkenő tendenciát mutatott.

A piritkristályok formái, formakombinációi, paraganezise és képződési körülményei

A különböző mélységekből származó fennőtt piritkristályok formái, formakombinációi, paragenezise és geokémiai jellege arra utal, hogy a kristályok formája és képződési körülményei között szoros összefüggés van. A változó genetikai körülményeket, változó ásványtársulások és a piritkristályok változó formái, formakombinációi jelzik. Ez tapasztalható a misztbányai hidrotermás eredetű Cu-szulfidos telérek esetében is.

A Cu-szulfidos telérekben előforduló piritkristályok leggyakoribb megjelenési formái: az (100), (111) és (210) (2. *ábra*). A szépen fejlett kristályokon az uralkodó és legnagyobb lapok az (100) és (210). A lapok megjelenése finoman vagy erősen rostozott, néha élénk fényű, máskor kevésbé fénylő. A nagyobb (100) és (111) lapok felülete többé-kevésbé fénytelen és kimart. Legtöbbször a (210) lapok is fénytelenek ugyanúgy, mint a (211) formák keskeny lapjai (TOKODY 1944). De a kisebb kristályok lapjai ragyogóan fényesek és simák.

A legmélyebb övezetben (a 177 m alatti szinteken), ahol a pirit jelenléte uralkodó, a piritkristályok a vaskos piritre, kvarcra telepedve kalkopirit, kvarc és alapromboéder lapokkal határolt kalcitkristályok társaságában voltak jelen. Ezeken a piritkristályokon, ugyanúgy, mint a teléreket befogadó vulkáni kőzetekben képződött piritkristályokon, egyedüli forma a finom rostozottságú vagy sima felületű (100) hexaéder (2 *ábra, a*). Az itt található 3–4 cm nagyságú kristályok felületén, sok esetben törések és korrodálódott részek voltak láthatók. Ez későbbi hőmérséklet- és nyomásemelkedésre, valamint a fluidum megváltozott pH-jára utaló jelnek tekinthető, amely a tektonikai mozgásokkal párhuzamosan, vagy azok következtében mentek végbe.



2. *ábra.* A pirit kristályosodási formái megjelenésének sorrendje a genetikai körülmények változásának függvényében Misztbányán

Fig. 2 Sequence of crystal forms of pyrite as function of the variation of genetic relations in Nistru Mine

Az északkeleti részen a felszíni zónában, vagyis a Cîmpurele (327 m) szint fölött, ahol a telérekben elszórtan galenit-, szfaleriterek, -fészkek, és érhálós formában aranyban gazdag kvarc volt jelen, az üregekben „dárdakovand" típusú markazitkristályokkal és szkalenoéderes kalcittal társulva a pentagondodekaéderes habitusú piritkristályok a legelterjedtebbek (2 *ábra, d*). Ez csökkent hőmérsékleti és nyomásviszonyokra, valamint a fluidum enyhén savas-semleges-lúgos pH-jára utal. A (210) formájú, 10–15 milliméter nagyságú piritkristályok a korábban képződött ásványokra (kalkopirit, szfalerit, galenit) telepedtek. Lapjaik kevésbé fénylők és finoman rostozottak. Ezzel szemben, a tetraedritre telepedett kisebb (5–6 milliméteres) piritkristályok ragyogó fényű sima lapokkal határoltak, és ezeken ritkán apró bournonit ül.

Magyarországon apró pentagondodekaéderes piritkristályok csak Rudabányán és Telkibányán találhatók (KOCH 1966), valamint a gyöngyösoroszi epitermás-polimetallikus érctestekből ismertek (SZAKÁLL & GATTER 1993). Az utóbbiak, szintén alacsony képződési hőmérsékletre és nyomásra utalnak.

A misztbányai Cu-szulfidos telérekben a 227 m szint környékén, az említett két alaptípus közti átmenetet a kombinált piritkristályformák képezték, ahol legtöbb esetben az (111) kristálylapok is kifejlődtek. Az enyhén rostozott hexaéder lapokhoz gyakorta nagyobb fakó, vagy kisebb csillogó felületű oktaéder lapok társultak (2 *ábra, b*). Ezek néha majdnem (100) – (111) középkristály kombinációt alkottak, mely típust korábbi vizsgálatai során TOKODY is jelzett. Az oktaéder formájú (0,5 mm nagyságú) piritkristályok csak ritkán fordulnak elő, lapjaik kimartak és fénytelenek (TOKODY 1944). A Cîmpurele (327 m-es) és a 277 m-es színt közti övben, már a (210), (111) és (100) keskeny rostozott lapokkal megjelenő hármas kombináció a leggyakoribb forma (2 *ábra, c*).

A Misztbányán tanulmányozott gazdag vizsgálati anyagban, néha egy-egy vaskereszt-ikerkristály is felbukkant (TOKODY 1944). A tapasztalatok szerint az érctesteken belüli pirit kristályforma-változása, nem nagy mélységi határok között, 200–250 méteren belül ment végbe

Következtetések

Misztbányán, a vizsgált érctestekben képződött piritkristályok habitusváltozása, formakombinációja, a különböző ásványparagenezise, és a geokémiai folyamatok vizsgálatainak eredményei arra utalnak, hogy a mélységben, magasabb hőmér-

séklet, nyomás és a fluidum lúgos-semleges pH-viszonyai következményeként az (100) kristálylapok jelennek meg. A felszín felé haladva, ezen tényezők változásával, a hexaéder lapjai mellett az (111) kristálylapok jelennek meg. Ezt követően pedig a (210) majd a (211) kristálylapok képződése figyelhető meg, amely már az ércképződés utolsó, alacsony hőmérsékletű és nyomású szakaszára esik, enyhén savas-semleges-lúgos pH-viszonyok mellett.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet MOLNÁR Ferenc és KÁKAY SZABÓ Orsolya lektoroknak, a kézirat áttekintéséért, észrevételeikért, valamint VICZIÁN Istvánnak a kézirattal kapcsolatos megjegyzéseiért, tanácsaiért.

Irodalom – References

GREENWOOD, N. N. & EARNSHAW, A. 1999: Az elemek kémiája. I–III. köt. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1834 p.

KOCH S. 1966: Magyarország ásványai. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 94–243.

KOCH S. & SZTRÓKAY K. I. 1967: Ásványtan. I–II. – Tankönyvkiadó, Budapest. 936 p.

MEZŐSI J. 1949: A misztbányai (Nistru) Kisasszonypatak völgyi telércsoport geológiai helyzete és felépítése. – *Acta Min. Petr., Szeged.* **3**, 48–55.

MOLNÁR F. 1997: Epitermás aranyércesedések kialakulásának modellezése ásványtani-genetikai vizsgálatok alapján. – *Földt. Kut.* **34/1**, 8–12.

PETRULIAN, N. 1973: Zăcăminte de minerale utile. – Edit. Tehn. Bucureşti, 503 p.

POMARLEANU, V. 1961: Cercetări geotermometrice asupra zăcămantului metalifer din bazinul văii Nistrului, regiunea Baia Mare. – *Anal. Univ. Iaşi, Ser. şt. Naţ.* **8/1**, 1–3.

RÉTHY K. 1998: Lápos és Misztbánya teleptani viszonyai. – *Földt. Kut.* **35/4**, 6–12.

RÉTHY K., MIHÁLKA I. & GÖTZ E. 2006: Adatok Miszt-Láposbánya (Románia) hidrotermális ércesedéseinek teleptani, ásványtani és geokémiai ismeretéhez. – www.foldtanikutatas.hu/fk063/rethy/rethy.htm

SUNAGAWA, J. 1957: Variation in crystal habit of pyrite. – *Geol. Survey of Japan Report* **175**, 1–47.

SZAKÁLL S. & GATTER I. 1993: Magyarországi ásványfajok. – Fair System Kft. Miskolc, 85–87.

TOKODY L. 1931: A pirit morfológiája. – *Mat. és Term. tud. Ért.* **48**, 782–799.

TOKODY L. 1944: Kristálytani vizsgálatok magyarországi piriteken (Kisasszonybánya). – *Mat. és Term. tud. Közl.* **40/1**, 13–14.

Kézirat beérkezett: 2006. 01. 18.

Földtani Közlöny 137/1, 23–39. (2007) Budapest

Löszök és paleotalajok szemcseösszetételi és geokémiai paraméterek alapján történő osztályozásának interpretálása a fuzzy halmazelmélet segítségével

Classification of loesses and palaeosols on the basis of sedimentological and geochemical parameters interpreted with the help of fuzzy set theory

ÚJVÁRI Gábor[1]

(6 ábra, 9 táblázat)

Tárgyszavak: fuzzy halmazelmélet, Mamdani típusú fuzzy következtetési rendszer, lösz, paleotalaj, üledékkategorizálás, szemcseösszetétel, geokémia

Keywords: fuzzy set theory, Mamdani type fuzzy inference system, loess, palaeosol, sediment categorisation, grain size analysis, geochemistry

Abstract

Loesses and palaeosols can be ranked into sediment categories and sediment types on the basis of certain sedimentological and geochemical parameters according to their weathering and pedogenetic conditions. These categories do not differ sharply from one other and in many cases overlap or more often occupy an intermediate position. The categorisation of loesses and palaeosols can be demonstrated through the fuzzy set theory using mathematical methods. The primary purpose of this paper is the presentation of this method.

Összefoglalás

A löszök és paleotalajok bizonyos üledéktani és geokémiai paramétereik alapján, mállás és pedogenezis általi érintettségüknek megfelelően üledékkategóriákba, üledéktípusokba sorolhatók. Ezen kategóriák egymástól nem válnak el élesen, azok sok esetben egymást átfedő, egymásba fokozatos átmenetet képező kategóriák. A fuzzy halmazok elméletének segítségével a besorolás, a löszök és paleotalajok egyes üledékkategóriákba tartozása matematikai módszerekkel adható meg, illetve számszerűsíthető. A jelen dolgozat elsődleges célja ezen módszer bemutatása.

Bevezetés

A pleisztocén során glaciális/interglaciális ciklusok, ezen belül stadiális/interstadiális fázisok váltakoztak egymással, mialatt az ősi klíma és az ősi környezet jelentős átalakuláson ment át. A belföldi jégtakaró előnyomulásával jellemezhető hűvösebb, sokszor hideg glaciális és stadiális ciklusok során a Föld bizonyos területein löszök és annak változatai jöttek létre. A jégtakaró visszahúzódásakor a melegebb, nedvesebb interglaciális, interstadiális ciklusok során a lösz alapkőzet felszíni rétegeiből az adott klímazónán jellemző talajok alakultak ki, ugyanis az éghajlat melegebbé, nedvesebbé válásával a mállás és pedogenezis fokozódott. Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a mállás és a talajképződés előrehaladtával a főkomponensek közül a SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, K_2O, TiO_2, MnO, P_2O_5, a nyom-

[1]MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete, H–9400 Sopron, Csatkai u. 6–8, e-mail: ujvari@ggki.hu

elemek közül a Cr, Zn, Cu, Ni, Rb, Pb, Ba feldúsulnak, míg a Ca, Mg és Sr mennyisége, illetve a $CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$ arány csökken (WEN et al. 1984, 1985; SCHNETGER 1992; HUM & FÉNYES 1995; HUM 1998; HUM 2002). A Na- és Rb-tartalom a mállás kezdeti szakaszában nő a fent említett üledékekben, aztán a legintenzívebb mállási szakaszban, illetve a pedogenezis során már a kioldódás miatt csökkenő mennyiségben van jelen (HUM 2002). A talajképződés és a mállás során a szemcseösszetétel is megváltozik. Növekszik az agyagfrakció, valamint némileg a nagyon finom és finom kőzetliszt frakció aránya, mialatt a durva kőzetliszt (lösz-) frakció aránya csökken (PÉCSI 1993, p. 277; HUM & FÉNYES 1995, SÜMEGI 2001, p. 191). A jellemző szöveti paraméterek közül a közepes szemcseméret (Mz) is csökkenő tendenciát mutat a gyengén átalakult, mállott löszöktől az intenzíven mállott paleotalajokig (HUM 2002). A hidegebb, hűvösebb és általában szárazabb glaciális és stadiális ciklusokban keletkezett lösz ásványegyüttese a nedvesebb, melegebb interglaciális és interstadiális szakaszokban átalakul, melynek során az egyes ásványok mennyisége megváltozik, s tulajdonképpen ez vezet a kémiai összetétel, illetve a szemcseméret fent leírt változásaihoz.

Az őskörnyezeti, őséghajlati viszonyok tehát alapvetően meghatározzák a löszök és paleotalajok kémiai elemösszetételét és üledékföldtani viszonyait. Ezen információk, adatok alapján pedig az üledékek kategóriákba sorolhatók a mállás és pedogenezis általi érintettségüknek megfelelően. Az üledéktani és geokémiai adatok alapján történő lösz- és paleotalaj típusok elkülönítését hazánkban korábban HUM & FÉNYES (1995), illetve HUM (2002) a Délkelet-Dunántúlon történt lösz-paleotalaj vizsgálataik során már bemutatták. Munkáikban az egyes üledékkategóriák nyilvánvaló módon és természetesen nem élesen elkülönülő egységekként jelentek meg, hanem mind az azokat meghatározó üledékföldtani, mind a geokémiai paraméterekben – azok tartományértékeiben – kisebb-nagyobb átfedések voltak, tehát az úgynevezett határfeltételek bizonyos mértékig rugalmasnak voltak tekinthetők. A matematikai számhalmaz fogalom szerint tehát nem éles halmazokról – az adott esetben üledékkategóriákról – volt szó, amelyeknek a jellemző üledéktani és geokémiai paraméter értékek vagy elemei vagy nem.

Kutatásaim során, amelyek dél-baranyai lösz-paleotalaj sorozatok szedimentológiai, geokémiai és malakológiai vizsgálatára koncentrálódtak, magam is szembesültem azzal a problémával, hogy az üledékföldtani és geokémiai információk ismeretében miként lehetne egzakt matematikai formában megadni a vizsgált löszök és paleotalajok egyes üledékkategóriákba tartozását, amelyek az őskörnyezeti rekonstrukcióban fontos információkat jelentenek. A problémára a fuzzy halmazok elmélete kínál megoldást.

Az üledékföldtani és geokémiai vizsgálatok módszerei

Szemcseösszetételi vizsgálatok:

A vizsgálatok három feltárás teljes rétegsorára (Majs–1, –2/a, –3) az USA-ban, a Washington State University Pedológiai és Negyedkori Tanulmányok Laboratóriumában készültek, egy további feltárás (Bácsfapuszta) esetén reprezentatív módon, 5 mintára a Pécsi Tudományegyetem Természetföldrajzi Laboratóriumában.

a) A Washington State University Pedológiai és Negyedkori Tanulmányok Laboratóriumában a vizsgálatok Malvern Mastersizer-S lézeranalizátorral történtek, amelynek mérési tartománya 5 és 875 mikron közé esett. Az e feletti mérettartományok kimutatására nedves szitálással került sor.

b) A Pécsi Tudományegyetem Természetföldrajzi Laboratóriumában a szemcseeloszlási vizsgálatok a 0,25 mm feletti frakciókra vonatkozóan nedves szitálással, az ez alattiakra Malvern Mastersizer Micro és Fritsch Analisette 22 lézeres szemcseanalizátorral történtek.

A szemcseösszetételi adatokból az alábbi szemcseméret tartományokat képeztem (FRIEDMAN & SANDERS 1978):

0,125 mm feletti (finom, közép és durva homok),
0,125–0,0625 mm feletti (nagyon finom homok),
0,0625–0,0312 mm között (nagyon durva kőzetliszt),
0,0312–0,0156 mm közötti (durva kőzetliszt),
0,0156–0,0039 mm közötti (finom és közepes kőzetliszt),
0,0039–0,002 mm közötti (nagyon finom kőzetliszt),
0,002 mm alatti (agyag-) frakciók.

Ezekből csupán az agyag, valamint a durva és nagyon durva kőzetliszt frakciókat adtam meg a táblázatokban. Az adatokból az alább megadott egyenlet (1) segítségével közepes szemcseméretet (Mz) számoltam (FOLK & WARD 1957).

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \qquad (1)$$

ahol: $\phi = -\log_2 d$,
d= szemcseátmérő (mm).

A táblázatokban már mikrométerben (μm) adtam meg a közepes szemcseméret (Mz) értékeit, amelyet ennek ϕ-értékeiből a fentiekből következően logikusan számolhatunk:

$$Mz(\mu m) = 2^{-\phi_{Mz}} \times 1000 \qquad (2)$$

Geokémiai vizsgálatok

Az üledékek kémiai összetételére vonatkozó vizsgálatok elvégzésére az USA-ban, a Washington State University Geológia Tanszékének Geoanalitikai Laboratóriumában került sor. A többlépéses analízis röntgenfluoreszcens (X-Ray Fluorescens – XRF) módszerrel történt (JOHNSON et al. 1999).

A fuzzy halmazok elmélete és az üledékek kategorizálásának gondolata

A fuzzy halmazok, illetve a fuzzy logika ötlete 1965-ből, a kaliforniai Berkeley-n tanító Lotfi A. ZADEH matematikustól származik (ZADEH 1965). Szerinte az emberi gondolkodásmód sokkal jobban modellezhető olyan fogalmakkal, amelyeknek nincsenek éles határaik, ahol az átmenet egy tulajdonság megléte és nemléte között folytonos vagy homályos (angolul: fuzzy). A fuzzy halmazokkal tehát a pontatlan

vagy bizonytalan információkat, adatokat vagy rugalmasan kezelhető határfeltételeket is matematikai formába lehet önteni, azokat kvantitatíve kezelni. A fuzzy logikát egyébként a földtudományok különböző területein, így például a hidrológiában, talajtanban, geomorfológiában, szeizmológiában (DEMICCO & KLIR 2004) és a geodéziában (HEINE 1999, HABERLER 2005) már sikerrel alkalmazták. Hazánkban a bizonytalan halmazok elméletének alkalmazását a geológiában, ásvány- és kőzettanban, nyersanyagkutatásban az elmúlt néhány évben mutatták be (BÁRDOSSY et al. 2000, 2001; FÖLDVÁRI et al. 2002; BÁRDOSSY 2005).

A fuzzy logika tehát, mint látható igen széles körű alkalmazást nyert és jó megoldást kínálhat az üledékek osztályozására is. Jelen esetben a fuzzy halmazok elmélete révén egyfajta szakértői rendszer alakítható ki, amelynek segítségével az üledékkategóriákba sorolás matematikai módszerekkel történik, melynek alapjai az alábbiak szerint vázolhatók.

Legyen $X \neq \emptyset$ egy tetszőleges halmaz. Az X alaphalmazon értelmezett A fuzzy halmaz, mint rendezett párok halmaza

$$A = \{ x, \mu A(x) \mid x \varepsilon X \}, \quad (3)$$

amelyet „X feletti fuzzy halmaznak" nevezünk. Az adott halmazhoz való hozzátartozás fokát, a bele nem tartozás (0) és a teljes körű tagság (1) közötti fokozatok megadására szolgáló, bármely 0 és 1 közötti értékkel rendelkező ún. tagsági függvény ($\mu A(x)$) adja meg.

A tagsági függvény formális definíciója:
$\mu A(x) : X \rightarrow [0,1]$ úgy, hogy ha
$\mu A(x) = 1$: az x definit módon A-ba tartozik,
$\mu A(x) = 0$: az x definit módon nem tartozik A-ba,
$\mu A(x_1) > \mu A(x_2)$: az x_1 jobban beletartozik A-ba, mint az x_2.

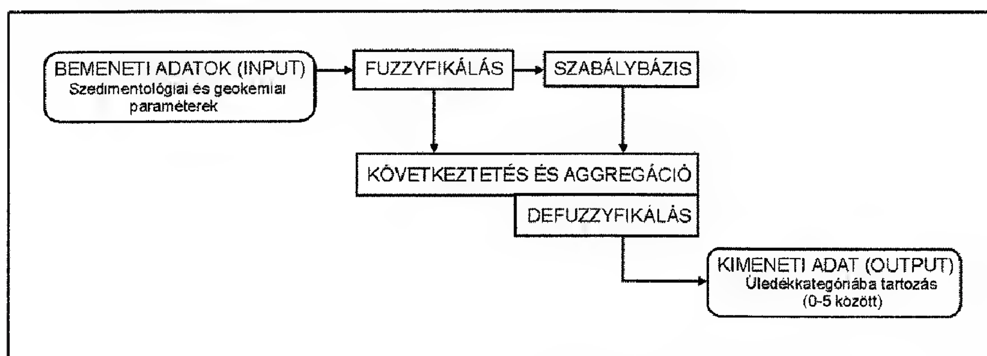
Úgy is lehet mondani, hogy a $\mu A(x)$ azt mutatja meg, hogy az adott $x \varepsilon X$ elem mennyire rendelkezik az A halmaz által leírt tulajdonsággal (FULLÉR 1997). A fuzzy halmazok tehát olyan tulajdonságok leírására szolgálnak, amelyeket nem lehet karakterizálni a klasszikus eleme (ε) relációval, azaz a kétértékű logika (igen/nem) segítségével. Ilyen módon tehát kiválóan alkalmazhatók a tulajdonképpen halmazoknak tekinthető üledékkategóriák (gyengén átalakult, átalakult, erősen átalakult lösz, paleotalaj és erősen fejlett paleotalaj) leírására, amely halmazok között nyilvánvalóan nincs éles határ. Ez azt jelenti, hogy egy adott lösz-, vagy paleotalajminta szedimentológiai és geokémiai paraméterei alapján tagsági függvények adják meg, hogy az üledék (0 és 1 között) milyen mértékben tartozik az egyik vagy másik üledékkategóriához.

A mállás és pedogenezis egy időben lejátszódó folyamat, amelyet az őskörnyezeti, őséghajlati viszonyok befolyásolnak és amelynek során eltérő időben eltérő mértékben mállott, valamint eltérő pedogenetikus hatás által érintett üledékek jönnek létre. Minél inkább mállott egy üledék, amit az üledékföldtani és geokémiai paraméterek jeleznek, annál nagyobb az intenzívebb mállottsággal (átalakultsággal) jellemezhető üledékkategóriákba való tartozásának mértéke és fordítva. Az egyes üledékkategóriák tehát – mint említettem – önálló fuzzy halmazokként értelmezhetők, ahol az egyes kategóriák közti határok nem élesek, hanem egyfajta

átmenetet képeznek egymásba. Elképzelhető, hogy egy adott üledék a geokémiai és üledéktani paramétereinek értékei alapján egyszerre két kategóriába is tartozik, csakhogy az egyik kategória esetén nagyobb a tagságának vagy hozzátartozásának foka, mint a másiknál. Tehát az üledékkategóriákat reprezentáló fuzzy halmazok közül kiválasztható egy olyan, amely által képviselt tulajdonsághoz vagy attribútumhoz leginkább közeláll az adott minta tulajdonsága. Ez alapján tehát az üledék besorolható a rá legjellemzőbb kategóriába/halmazba.

Mamdani típusú fuzzy következtetési rendszer, mint az üledékek kategorizálásának matematikai alapú megoldása

A fuzzy következtetés egy olyan folyamat, amelyben adott bemeneti (input) értékekből a fuzzy logika mentén kimeneti (output) értékeket képezünk. Alapvetően két fuzzy következtetési rendszert ismerünk, a Mamdani típusú és a Takagi-Sugeno típusú rendszereket (DEMICCO & KLIR 2004). Az előző típus széles körben használatos és az üledékkategorizálásra is kiválóan alkalmas, tehát a következőkben a Mamdani típusú fuzzy következtetési rendszert mutatom be (*1. ábra*). Ennek két verzióját a MATLAB® nevű magasszintű programnyelv és interaktív környezet Fuzzy Logic Toolbox-a (MATLAB 2004) segítségével fejlesztettem ki.



1. ábra. Mamdani típusú fuzzy következtetési rendszer modellje

Fig. 1. Model of Mamdani type fuzzy inference system

A fuzzy következtetési folyamat öt alapvető lépésre bontható:
I. Az inputváltozók fuzzyfikálása.
II. Fuzzy operátorok alkalmazása.
III. Következtetés vagy implikáció (HA-AKKOR szabályok) alkalmazása.
IV. A konklúziók egyesítése, aggregációja.
V. Defuzzyfikálás.

Az inputváltozók fuzzyfikálása

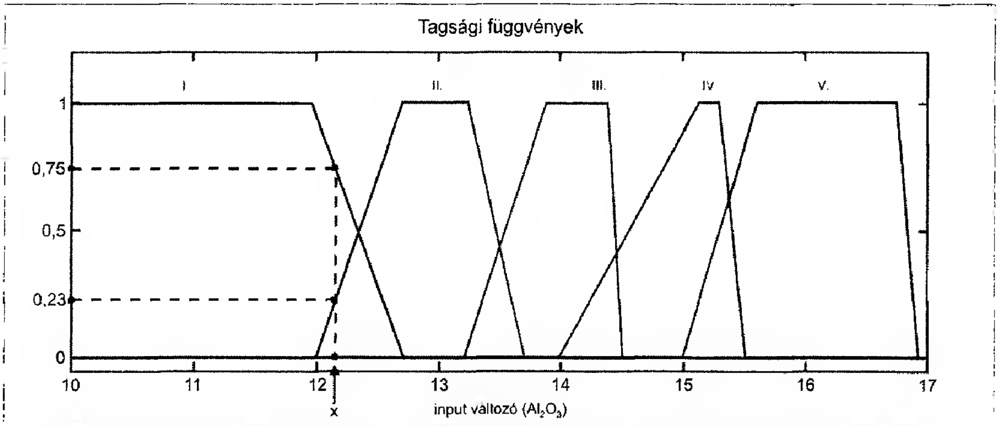
Az adott lépésben az egyes bemeneti értékek (x_1 ,x_2, ..., x_n) fuzzy halmazokhoz való tartozásának (0 és 1 közötti tagsági értékének) meghatározása történik, tagsági

1. táblázat. A vizsgált löszök és paleotalajok fuzzy halmazok segítségével történő üledékkategóriákba sorolásához felhasznált szedimentológiai és geokémiai paraméterek tartományértékei, mint input adatok

Table 1. Range values of sedimentological and geochemical parameters (input data) which were applied to the categorisation of the examined loesses and palaeosols with the help of fuzzy sets

	Üledékkategóriák				
Szedimentológiai és geokémiai paraméterek	Gyengén átalakult lösz	Átalakult lösz	Erősen átalakult lösz	Paleotalaj	Erősen fejlett paleotalaj
0,0156–0,0625 mm közötti löszfrakció (%)	49,0–63,0	45,5–53,0	42,0–47,0	40,0–43,0	35,0–40,5
M_z (közepes szemcseméret, µm)	20,0–37,0	18,0–23,0	16,5–19,0	15,0–17,0	11,0–15,5
0,002 mm alatti agyag frakció (%)	4,0–7,0	6,0–8,0	7,0–10,0	6,0–10,0	9,0–10,0
SiO_2 (súly%)	51,0–59,0	57,0–63,0	62,0–66,0	64,0–70,0	66,0–72,5
Al_2O_3(súly%)	10,0–12,7	12,0–13,7	13,2–14,5	14,0–15,3	15,0–16,9
CaO (súly%)	14,0–25,1	7,9–16,0	5,6–9,4	2,7–7,5	0,7–4,5
Rb (ppm)	76–95	90–108	104–120	115–130	120–140
Ba (ppm)	329–397	365–450	419–470	460–490	485–526
$CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$	1,30–2,75	0,87–1,49	0,65–0,97	0,35–0,75	0,25–0,55

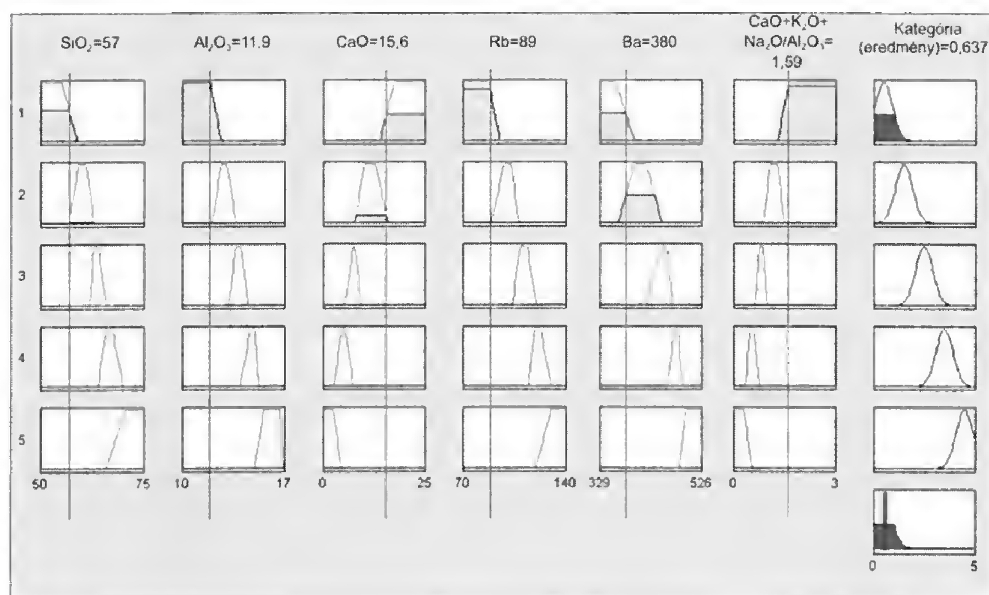
függvények alkalmazásával. A konkrét esetben ez azt jelenti, hogy az egyes mállottsági tartományok egy-egy fuzzy halmaznak felelnek meg. Bizonyos kiválasztott üledékföldtani és geokémiai paraméter értékek jellemeznek egy adott üledékkategóriát, illetve annak mállottságát. Például az Al_2O_3 aránya az egyes üledékkategóriákban különböző, de egymást átfedő tartományokba esik (*1. táblázat*). Tehát



2. ábra. Egy geokémiai paraméter (Al_2O_3), mint input érték fuzzyfikálása aszimmetrikus trapéz alakú tagsági függvényekkel. A vízszintes tengelyen az Al_2O_3 vizsgálatok során észlelt értékek jelennek meg, míg a függőlegesen a hozzátartozás vagy beletartozás foka 0 és 1 között. Hozzátartozás foka: $\mu I(x)=0{,}75$; $\mu II(x)=0{,}23$; $\mu III(x)=0$; $\mu IV(x)=0$; $\mu V(x)=0$. Jelmagyarázat: I–V. – az üledékek mállottságának mértéke a legkisebb fokú mállottságtól (I.) a legnagyobb fokúig (V.), amelyek hozzávetőlegesen megfelelnek az öt üledékkategóriának

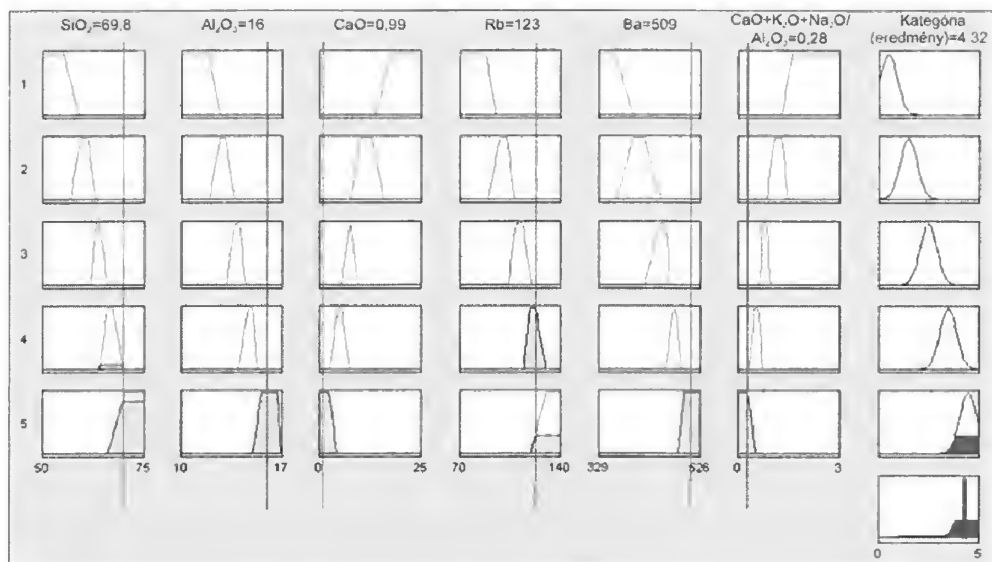
Fig. 2. Fuzzyfication of a geochemical parameter (Al_2O_3) as an input value through unsymmetrical (skewed), trapezoidal-shaped membership functions. The values of Al_2O_3 which were detected in the course of the examinations appeare on the absciss, while the degree of membership (between 0 and 1) on the ordinate. Degree of membership: $\mu I(x)=0{,}75$; $\mu II(x)=0{,}23$; $\mu III(x)=0$; $\mu IV(x)=0$; $\mu V(x)=0$. Legend: I–V – weathering degree/rate of the sediments from the smallest (I) to the largest (V) which correspond approximately to the five sediment categories

egy adott üledékminta Al_2O_3 tartalma az input érték. A mintáról ezen úgynevezett éles érték alapján a fuzzyfikálás során állapítjuk meg, hogy 0 és 1 között milyen mértékben tartozik az egyes mállottsági fokokhoz/tartományokhoz, azaz egy fuzzy vagy fuzzyfikált értéket ($\mu(x1)$, $\mu(x2)$,..., $\mu(xn)$) nyerünk (2. *ábra*). Természetesen a jelen rendszernél nem egy inputérték van, hanem több, tehát nem csupán az Al_2O_3 mennyiségével jellemezzük az egyes mállottsági fokokat/tartományokat, hanem több főkomponens, nyomelem, geokémiai arány és üledékföldtani paraméter értékével. A geokémiai paraméterekből hatot (SiO_2, Al_2O_3, CaO, Rb, Ba, $CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$ arány), míg az üledékföldtaniak közül három paramétert (agyagfrakció, löszfrakció és közepes szemcseméret – Mz) építettem egy-egy önálló, de azonos módon működő rendszerbe. Tehát egy rendszer a geokémiai (3. és 4. *ábra*), egy rendszer pedig az üledékföldtani paramétereket értékeli (5. *ábra*). A választás azért esett a fent említett paraméterekre, mert egyrészt jól jellemzik az egyes üledékkategóriákat, másrészt pedig a tartomány értékeik alapján viszonylag



3. *ábra*. Fuzzy következtetés és aggregáció egy löszminta (Majs–1. számú feltárás, 4,00–4,40 m) geokémiai alapon történő kategorizálása során. Jelmagyarázat: Az 5 vízszintes sor az öt elkülönülő szabálysornak felel meg, az első 6 függőleges oszlop a bemeneti geokémiai paramétereket jeleníti meg. Az utolsó oszlopban a szabálysorok végén egy-egy önálló fuzzy halmaz, az adott oszlop alján pedig az ezekből számított egyetlen aggregált fuzzy halmaz látható. Az aggregált fuzzy halmazból a centroid kalkuláció (Center of Gravity, CoG) módszerével nyerhető a kimeneti, ún. éles érték (jelen esetben: 0,637, ami azt jelenti, hogy az adott minta a gyengén mállott löszök kategóriájába tartozik)

Fig. 3 Fuzzy inference and aggregation in the course of categorization of a loess sample (Majs–1 outcrop, 4.00–4.40 m) on the basis of geochemical data. Legend: The 5 horizontal lines correspond to the five separate rules and the 6 vertical column represent the input geochemical parameters. Each separate fuzzy set can be seen in the last column at the end of the rule lines and one aggregated fuzzy set is visible at the bottom of the last column which is computed from the above-mentioned, previous sets. The output, crisp value can be computed from the aggregated fuzzy set with the help of centroid calculation (Center of Gravity, CoG) method. The crisp value is 0.637 in this case. This means that the given sample belong to the category of weakly weathered loesses

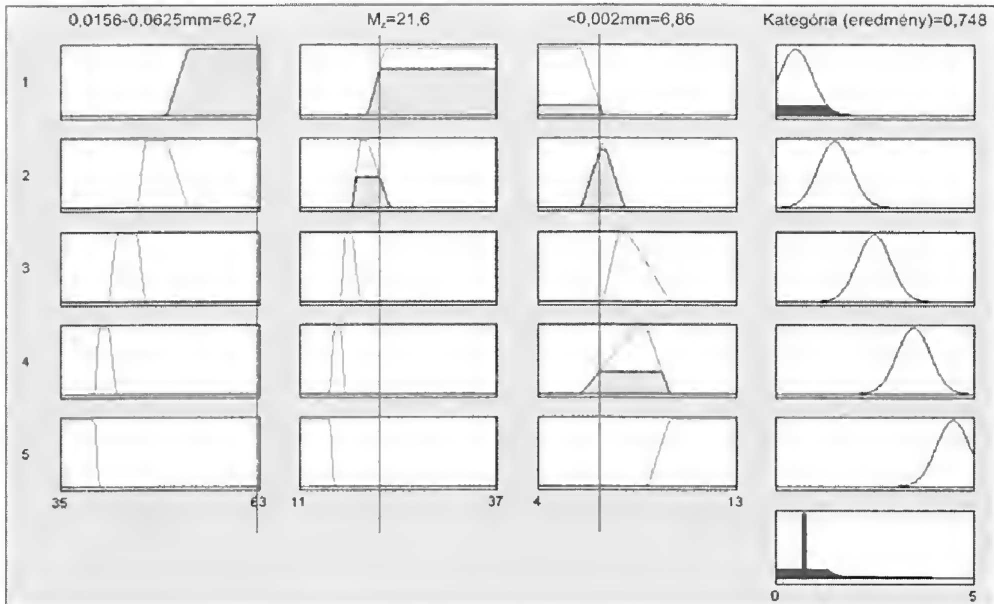


4. *ábra.* Fuzzy következtetés és aggregáció egy paleotalaj minta (Bp–2, Bácsfapuszta, 3,80–4,20 m) geokémiai alapon történő kategorizálása során. Jelmagyarázat: A kimeneti, ún. éles érték jelen esetben: 4,32, ami azt jelenti, hogy az adott minta az erősen fejlett paleotalajok kategóriájába tartozik

Fig. 4 Fuzzy inference and aggregation in the course of categorisation of a palaeosol sample (Bp–2, Bácsfapuszta section, 3.80-4.20 m) on the basis of geochemical data. Legend: The crips value is 4.32 in this case. This means that the given sample belong to the category of strongly [illegible]

jól elkülöníthetők az egyes üledéktípusok. Az agyagfrakció arányával kisebb probléma volt, mert egyes esetekben az erősen mállott löszöknél magasabb értékek szerepelnek, mint némely paleotalajnál.

Geokémiai munkákban a mállási állapotok összehasonlítására általában a NESBITT & YOUNG (1982) által publikált mérőszámot, a CIA indexet (Chemical Index of Alteration), sokszor pedig a CIW indexet (Chemical Index of Weathering; HARNOIS 1988) használják. A jelen munkában ezen indexek helyett az egyszerűsített mutatószám, a $CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$ geokémiai arány azért szerepel, mert az egyes üledékkategóriákat jellemző geokémiai és szedimentológiai tartományértékek, s így az ezek révén meghatározott és felvett tagsági függvények is részben HUM és FÉNYES (1995), illetve HUM (2002) munkájának adatain alapulnak, ahol ezt az indexet használták a szerzők. Az üledékkategóriák tartományértékeiben és a tagsági függvények kialakításában a fenti munkák mellett más, a szerző által vizsgált dél-baranyai szelvények vizsgálati eredményei is megjelennek. Így az Al_2O_3 példájánál maradva a vizsgálatokból kiderült, hogy mennyisége a 10–16,9% közötti tartományban mozog az üledékekben és az is, hogy az egyes üledékkategóriák milyen Al-tartalommal jellemezhetők (2. *ábra,* 1. *táblázat*). Egy adott mintáról természetesen a teljes adathalmazt, azaz jónéhány üledéktani és még több geokémiai adatot áttekintve és azokra együttesen, komplex módon tekintve lehetett eldönteni, hogy az adott minta mely üledékkategóriához tartozik. Ez egy nehezen körülírható, bonyolult rendszer, amelyben azonban törvényszerűségek és belső szerkezet figyelhető meg. Tehát korábbi adatok szolgáltak alapul az egyes kate-



5. ábra. Fuzzy következtetés és aggregáció egy löszminta (Majs–1. számú feltárás, 3,20-3,60 m) szedimentológiai alapon történő kategorizálása során. Jelmagyarázat: az első 3 oszlop rendre a durva és nagyon durva kőzetliszt frakció (0,0156-0,0625 mm) arányát, a közepes szemcseméretet (Mz), valamint az agyagfrakció (<0,002 mm) arányát jelzik. A kategória, eredmény és értéke (jelen esetben: 0,748, ami azt jelenti, hogy az adott minta a gyengén mállott löszök kategóriájába tartozik)

Fig. 5. Fuzzy inference and aggregation in the course of categorization of a loess sample (Majs 1. outcrop, 3.20-3.60 m) on the basis of sedimentological data. Legend: The first 3 column represent one after another the rate of coarse and very coarse silt fraction (0.0156-0.0625 mm), the mean size (Mz) and the rate of clay fraction (<0.002 mm). The output, crisp value is 0.748 in this case. This means that the given sample belongs to the category of weakly weathered loesses

góriák tartományértékeinek és tagsági függvényeinek felvételéhez. Mindemellett a korábbi – bemeneti és ismert kimeneti adatokká alakított – adathalmaz egy Takagi-Sugeno típusú adaptív neuro-fuzzy rendszeren (ANFIS) került tesztelésre, amelyben maga a rendszer hozza létre a szabályhalmazt és a tagsági függvényeket, illetve optimalizálja a már meglévőket. Ez a megközelítés azonban túl bonyolult szabályrendszert eredményezett, így azt el kellett vetni.

Az inputváltozók fuzzyfikálásához visszatérve hangsúlyozni kell, hogy az adott folyamat trapéz alakú tagsági függvényekkel történik, amelyeket az alábbi paraméterek (4)

$$f_{trap}(x;a,b,c,d)=\begin{cases}0, & x\le a\\ \frac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b\\ 1, & b\le x\le c\\ \frac{d-x}{d-c}, & c\le x\le d\\ 0, & d\le x\end{cases} \qquad (4)$$

vagy még kompaktabb módon (5)

$$f_{trapéz}(x;\ a, b, c, d) = \max\left[\min\left[\frac{x-a}{b-a},\ 1,\ \frac{d-x}{d-c}\right],\ 0\right] \tag{5}$$

írnak le (MATLAB 2004). Az a és d paraméterek adják meg a trapéz „lábait", a b és c paraméterek pedig a „vállait". Ábrázolva azt látjuk, hogy az *a* és *d* paraméterek mindig a 0 tagsági értéknek megfelelő helyen vagy vonalon lesznek, a *b* és *c* paraméterek pedig az 1 tagsági értéknek megfelelő vonalon. A trapéz az esetek többségében nyilvánvalóan nem szimmetrikus alakú.

Fuzzy operátorok alkalmazása

A fuzzy logikai következtetési séma felépítéséhez, definiálnunk kell a logikai operátorokat. A klasszikus halmazelmélet és a logika közti kapcsolat analógiájára a VAGY operátor megegyezik az unió, az ÉS a metszet, a NEGÁCIÓ pedig a komplementer operátorral.

$\mu_{A \cup B}(x) = MAX\ (\mu_A(x), \mu_B(x))$,
$\mu_{A \cap B}(x) = MIN\ (\mu_A(x), \mu_B(x))$,
$\mu_{-A}(x) = 1 - \mu A(x)$.

A fuzzyfikálás során több tagsági érték jön létre. A fuzzy operátorok alkalmazásával ezekből egyetlen igaz értéket állít elő a rendszer. Jelen esetben csupán az ÉS operátor alkalmazására volt szükség, amint az a következő pontban leírt szabályoknál bemutatásra kerül.

Következtetés vagy implikáció (HA-AKKOR szabályok) alkalmazása

Az implikáció (A ⇒ B) input értéke az előtagból a logikai operátorok alkalmazásával nyert igaz érték, az output pedig egy (vagy több) fuzzy halmaz.
Egy logikus szabályból egy logikus következtetés származik.

Implikáció:	*HA x=A AKKOR y=B*
Tény:	$x=A_1$
Következtetés:	$y=B_1$

A szabálybázis tehát a következő.

R_1: *HA* $x_1=A_1$ *ÉS* $x_2=A_1$ *ÉS* … *ÉS* $x_n=A_1$ *AKKOR* $y=B_1$
R_2: *HA* $x_1=A_2$ *ÉS* $x_2=A_2$ *ÉS* … *ÉS* $x_n=A_2$ *AKKOR* $y=B_2$
.
R_5: *HA* $x_1=A_5$ *ÉS* $x_2=A_5$ *ÉS* … *ÉS* $x_n=A_5$ *AKKOR* $y=B_5$

ahol $R_1,\ldots, R_5$ a szabályokat, $x_1,\ldots, x_n$ az egyik rendszer esetén a geokémiai, a másiknál az üledéktani (bemeneti) paramétereket, $A_1,\ldots,A_5$ a mállottsági fokozat

nyelvi fogalmát, y a kimeneti értéket, a $B_1,\ldots,B_5$ pedig az üledékkategória nyelvi fogalmát jelenti.

Az implikáció során tehát a jelen esetben tulajdonképpen az öt szabálysornak megfelelően konklúzióként öt fuzzy halmazt kapunk eredményül. Az ÉS alkalmazásával tehát a legszigorúbb szabálysort alkottuk meg és eszerint osztályoz a rendszer. Csak akkor kapunk a szabálysorok végén egyértelmű eredményt, ha minden input paraméter azonos kategóriába esik. Bizonyos esetekben, amikor egy paraméter nem esik az adott kategóriába, előfordulhat tehát, hogy a következtetési rendszer nem ad kimeneti értéket.

A konklúziók egyesítése, aggregációja

Az egyesítés során az egyes szabályok által létrehozott fuzzy halmazok egyetlen aggregált fuzzy halmazzá ($\mu(y)$) kombinálása történik. Ez utóbbi aggregált vagy egyesített fuzzy halmaz tagsági értéke a szabályok, illetve az implikáció által létrehozott fuzzy halmazok súlyozásából adódik.

Defuzzyfikálás

A defuzzyfikálással az előző lépésben nyert aggregált vagy egyesített fuzzy halmazból egyetlen reprezentatív, úgynevezett éles értéket (y) kapunk. Több metódus ismert ennek megoldására, azonban a jelen esetben a centroid kalkulációt (Center of Gravity, CoG) alkalmaztam, amely a legelterjedtebb operátor és a kétdimenziós függvény súlypontját adja értékül. A defuzzfikált érték (y) az alábbi formulával (6) számolható (DEMICCO & KLIR 2004):

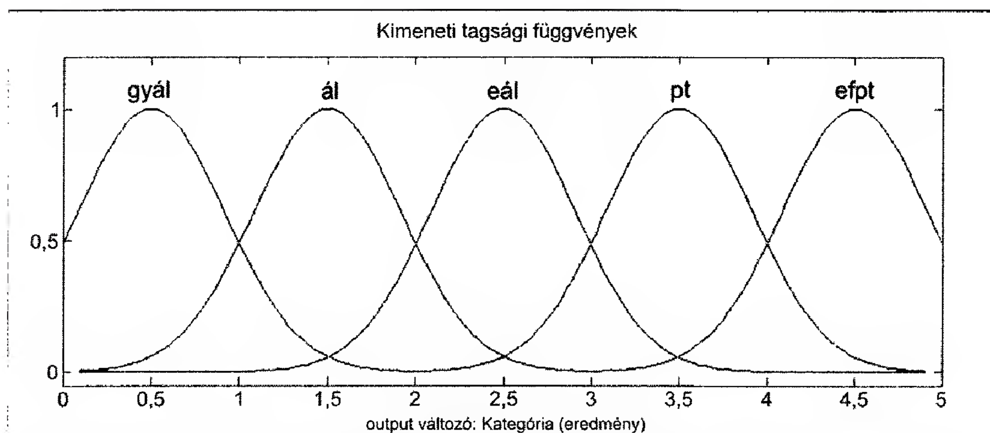
$$y = \frac{\int_R xA(x)dx}{\int_R A(x)dx} \qquad (6)$$

ahol:
X=R (X az alaphalmaz, melyet a valós számok halmazán értelmezünk),
A: egy az X alaphalmazon értelmezett fuzzy halmaz,
$A(x)=\mu A(x)$: x hozzátartozási értéke az A fuzzy halmazhoz.

A defuzzifikált érték (y) vagy eredmény jelen esetben egy 0 és 5 közé eső szám, amely szélső értékeket az öt üledékkategóriának (gyengén átalakult, átalakult, erősen átalakult lösz, paleotalaj, erősen fejlett paleotalaj) megfelelően választottam (*6. ábra*). Az egyes kategóriákat leképező tagsági függvények úgynevezett Gauss-görbék vagy másként, a normális eloszlás sűrűségfüggvényei melyeket az alábbi formula (7) ír le (MATLAB 2004):

$$f_{Gauss}(x; \sigma, c) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \qquad (7)$$

ahol:
σ = szórás/átlagos eltérés
e = az eloszlás átlaga/várható értéke



6. ábra. A kimeneti érték létrehozásához használt, az egyes üledékkategóriákat reprezentáló fuzzy halmazok és tagsági függvényeik (Gauss-görbék). Jelmagyarázat: gyál – gyengén átalakult lösz; ál – átalakult lösz; eál – erősen átalakult lösz; pt – paleotalaj; efpt – erősen fejlett paleotalaj

Fig. 6. The fuzzy sets and their membership functions (Gaussian curves) which represent the each sediment categories and were applied to the obtaining of output value. Legend: gyál – weakly altered loess; ál – altered loess; eál – strongly altered loess; pt – palaeosol; efpt – strongly develeoped palaeosol

Négy feltárás adatkiértékelésének eredményei

A geokémiai és szedimentológiai paraméterek alapján működő két rendszert négy feltárás (Majs–1, Majs–2/a, Majs–3, Bácsfapuszta) adatain teszteltem (2–9. *táblázat*). Két különálló rendszer kialakítására azért volt szükség, mert így több esetben jutunk eredményhez, ugyanis a szabálybázis úgy került magalkotásra, hogy ha egy bemeneti paraméternél nincs érték a legjellemzőbb kategóriában, akkor nincs eredmény. Tehát ez a „legszigorúbb" szabályhalmaz. Néhány esetben így is előfordul, hogy az egyik vagy másik rendszer nem ad eredményt vagy éppen nem ugyanazt az eredményt hozzák, azaz különböző üledékkategóriát jeleznek. (A bácsfapusztai feltárásnál csupán néhány szedimentológiai adat állt rendelkezésre, ezért itt több minta esetén a programot eleve nem lehetett lefuttatni.)

A vizsgálatokból jól látható, hogy a szedimentológiai adatokkal szemben a geokémiai adatok az üledékkategorizálás szempontjából konzisztensebb adathalmazt alkotnak, azaz a geokémiai adatok alapján az üledékkategóriák jobban elkülöníthetőek és kevesebb esetben fordul elő, hogy egy-egy adat nem igazolja a többi által jelzett üledékkategóriát, ami a végeredmény hiányához vezet. Ilyen esetekben egyébiránt a MATLAB Fuzzy Logic Toolbox grafikus adatai segíthetnek vagy további információk, adatok szükségesek a döntéshez. A rendszerek kimeneti, éles (crisp) értékei tájékoztatást adnak arról is, hogy a mintára legjellemzőbb kategórián belül az adatok alapján az üledék mely másik kategória felé mozdult el. Például a Majs–1 számú feltárás 4,00–4,40 és 4,40– 4,80 m közötti mélységből származó mintáinál a gyengén mállott löszök kategóriájának magjától a mállott löszök felé mozdultak el az adatok mindkét rendszer esetén (6. *táblázat*). Tehát amellett, hogy a legjellemzőbb üledékkategóriába sorolás megtörténik, egy járulékos információt is nyerünk az értékeléshez.

2. *táblázat.* A Majs–1. számú feltárás geokémiai és szemcseösszetételi adatai

Table 2. Geochemical and grain size alanysis data of the Majs–1 outcrop

Mélység (m)/input paraméterek (%, ppm)	0,40–0,80	0,80–1,20	1,20–1,60	1,60–2,00	2,00–2,40	2,40–2,80	2,80–3,20	3,20–3,60	3,60–4,00	4,00–4,40	4,40–4,80	4,80–5,20	5,20–5,60	5,60–6,00	6,00–6,40	6,40–6,80	6,80–7,20	7,20–7,60	7,60–8,00
SiO_2	69,34	61,08	58,52	59,16	60,75	63,57	65,48	65,92	53,58	57,04	56,87	58,63	59,08	54,05	58,88	60,04	60,31	62,08	57,81
Al_2O_3	14,18	13,08	12,41	12,56	13,24	13,98	13,92	13,78	11,40	11,93	11,50	11,79	12,24	11,26	12,38	12,68	13,04	13,90	13,24
CaO	2,74	11,29	14,79	12,35	10,40	8,10	6,96	7,25	20,09	15,61	15,54	13,10	12,37	16,22	12,01	12,06	10,75	9,17	15,48
Rb	117	103	93	95	99	109	108	109	83	89	87	92	98	89	100	100	104	107	102
Ba	464	421	407	416	425	452	460	451	357	380	396	397	399	405	377	417	416	446	421
$CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$	0,48	1,14	1,47	1,27	1,07	0,85	0,76	0,76	2,03	1,59	1,64	1,41	1,30	1,74	1,27	1,25	1,12	0,93	1,41
<0,002 mm	12,70	7,88	6,65	6,52	5,79	7,16	7,17	6,86	5,73	5,60	5,26	6,11	6,02	6,77	6,47	5,71	5,58	8,76	8,43
0,0156–0,0625 mm	35,79	47,18	50,28	48,64	46,51	55,05	53,99	62,69	59,15	54,00	55,66	51,72	51,43	50,39	49,57	45,97	53,25	44,24	45,80
Mz(mikron)	11,08	17,61	19,19	19,27	24,87	16,85	18,09	21,64	21,03	22,35	21,71	20,15	20,79	19,05	18,37	22,82	21,18	15,48	19,00

3. *táblázat:* A Majs–2/a. számú feltárás geokémiai és szemcseösszetételi adatai

Table 3 Geochemical and grain size alanysis data of the Majs–2/a outcrop

Mélység (m)/input paraméterek (%, ppm)	0,00–0,40	0,40–0,80	0,80–1,20	1,20–1,60	1,60–2,00	2,00–2,40	2,40–2,80	2,80–3,20	3,20–3,60	3,60–4,00	4,00–4,40	4,40–4,80	4,80–5,20	5,20–5,60	5,60–6,00	6,00–6,40
SiO_2	61,11	52,34	56,79	58,02	60,67	63,86	63,18	62,35	62,46	60,28	60,88	59,27	62,21	60,56	61,50	60,25
Al_2O_3	12,05	10,31	11,05	11,74	13,43	14,41	13,74	13,23	13,05	12,37	12,23	12,31	12,86	12,46	12,44	12,18
CaO	12,21	22,94	16,54	13,54	9,51	5,94	8,29	9,85	10,35	12,20	11,82	12,54	9,31	11,12	10,27	11,38
Rb	98	79	83	91	102	112	111	105	99	93	90	93	98	95	93	88
Ba	402	340	346	365	436	456	437	417	416	387	401	402	411	423	388	397
$CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$	1,30	2,51	1,80	1,45	1,00	0,70	0,88	1,03	1,08	1,28	1,27	1,32	1,02	1,20	1,14	1,25
<0,002 mm	6,22	6,88	7,33	7,86	6,89	6,80	8,39	7,46	7,10	7,16	6,59	5,76	7,01	5,87	7,98	5,85
0,0156–0,0625 mm	53,08	46,24	46,79	51,20	51,62	51,45	50,18	49,50	45,72	48,20	46,85	49,82	45,98	56,46	47,14	55,14
Mz (mikron)	23,50	21,36	15,59	17,00	17,41	17,47	16,29	17,24	20,26	17,57	18,32	20,69	16,86	22,77	16,52	21,73

4. táblázat. A Majs–3 számú feltárás geokémiai és szemcseösszetételi adatai
Table 4 Geochemical and grain size alanysis data of the Majs–3 outcrop

Mélység (m)/input paraméterek	0,00–0,40	0,40–0,80	0,80–1,20	1,20–1,60	1,60–2,00	2,00–2,40	2,40–2,80	2,80–3,20	3,20–3,60
SiO_2	55,40	56,40	61,46	62,56	64,03	63,82	64,02	63,80	62,07
Al_2O_3	10,74	11,13	13,42	13,23	13,38	13,33	13,90	13,98	13,40
CaO	17,38	16,37	7,91	7,55	6,52	7,10	5,61	7,06	9,40
Rb	84	86	103	100	106	105	111	114	107
Ba	355	357	423	420	425	428	420	444	427
$CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$	1,93	1,77	0,89	0,88	0,79	0,82	0,69	0,78	0,97
<0,002 mm	5,60	4,34	7,35	4,70	5,04	6,10	6,79	7,33	6,60
0,0156–0,0625 mm	52,87	66,33	47,09	49,97	51,45	48,55	49,31	48,44	49,02
Mz (mikron)	23,29	28,07	17,01	25,38	23,69	21,46	17,70	17,74	21,58

5. táblázat. A bácsfapusztai feltárás geokémiai és szemcseösszetételi adatai
Table 5. Geochemical and grain size alanysis data of the Bácsfapuszta outcrop

Mélység (m)/input paraméterek	0,00–0,20	0,20–0,60	0,60–1,00	1,00–1,40	1,40–1,80	1,80–2,20	2,20–2,60	2,60–3,00	3,00–3,40	3,40–3,80	3,80–4,20	4,20–4,60	4,60–5,00
SiO_2	56,01	57,12	60,24	60,39	60,32	66,86	55,12	60,38	67,71	69,01	69,83	61,29	64,36
Al_2O_3	11,64	11,80	12,87	13,19	12,96	15,67	12,47	13,58	15,55	16,46	16,02	14,11	14,20
CaO	20,43	18,39	13,24	12,64	14,15	4,24	20,31	13,69	3,85	1,25	0,99	12,15	8,74
Rb	85	87	99	102	100	131	93	105	129	140	123	105	106
Ba	367	371	425	421	408	516	420	448	507	526	509	435	477
$CaO+K_2O+Na_2O/Al_2O_3$	2,01	1,82	1,30	1,23	1,35	0,52	1,88	1,25	0,49	0,29	0,28	1,10	0,87
<0,002 mm	5,19	6,01				4,26	5,07		4,64				
0,0156–0,0625 mm	56,38	54,02				60,67	51,09		56,21				
Mz (mikron)	15,92	14,28				20,29	11,52		20,71				

	Geokémia		Szemcseösszetétel	
Mélység (m)	Eredmény	Kategória	Eredmény	Kategória
0,40–0,80	3,5	pt	4,41	efpt
0,80–1,20	1,5	ál	–	n.e.
1,20–1,60	1,5	ál	1,5	ál
1,60–2,00	1,5	ál	1,5	ál
2,00–2,40	1,5	ál	–	n.e.
2,40–2,80	2,5	eál	–	n.e.
2,80–3,20	2,5	eál	–	n.e.
3,20–3,60	2,5	eál	0,748	gyál
3,60–4,00	0,585	gyál	0,642	gyál
4,00–4,40	0,637	gyál	0,586	gyál
4,40–4,80	0,873	gyál	0,599	gyál
4,80–5,20	–	n.e.	1,38	ál
5,20–5,60	1,5	ál	0,739	gyál
5,60–6,00	–	n.e.	1,5	ál
6,00–6,40	1,5	ál	1,5	ál
6,40–6,80	1,5	ál	–	n.e.
6,80–7,20	1,5	ál	0,627	gyál
7,20–7,60	2,5	eál	–	n.e.
7,60–8,00	1,5	ál	–	n.e.

6. táblázat. A Majs–1 számú feltárás üledékkategorizálásának eredményei. Jelmagyarázat: gyál – gyengén átalakult lösz, ál – átalakult lösz, eál – erősen átalakult lösz, pt – paleotalaj, efpt – erősen fejlett paleotalaj, n.e. – nincs eredmény

Table 6 Results of the sediment categorisation of the Majs–1 outcrop. Legend: gyál – weakly altered loess, ál – altered loess, eál – strongly altered loess, pt – palaeosol, efpt – strongly developed palaeosol, n.e. – there is no result

7. táblázat. A Majs–2/a számú feltárás üledékkategorizálásának eredményei. Jelmagyarázat: gyál – gyengén átalakult lösz, ál – átalakult lösz, eál – erősen átalakult lösz, pt – paleotalaj, efpt – erősen fejlett paleotalaj, n.e. – nincs eredmény

Table 7. Results of the sediment categorisation of the Majs–2/a outcrop. Legend: gyál – weakly altered loess, ál – altered loess, eál – strongly altered loess, pt – palaeosol, efpt – strongly developed palaeosol, n.e. – there is no result

	Geokémia		Szemcseösszetétel	
Mélység (m)	Eredmény	Kategória	Eredmény	Kategória
0,00–0,40	1,5	ál	0,594	gyál
0,40–0,80	0,585	gyál	1,5	ál
0,80–1,20	0,611	gyál	–	n.e.
1,20–1,60	–	n.e.	–	n.e.
1,60–2,00	1,5	ál	–	n.e.
2,00–2,40	2,5	eál	–	n.e.
2,40–2,80	2,5	eál	–	n.e.
2,80–3,20	1,5	ál	–	n.e.
3,20–3,60	1,5	ál	1,5	ál
3,60–4,00	1,5	ál	–	n.e.
4,00–4,40	–	n.e.	1,5	ál
4,40–4,80	1,5	ál	0,715	gyál
4,80–5,20	1,5	ál	2,5	eál
5,20–5,60	1,5	ál	0,585	gyál
5,60–6,00	1,5	ál	–	n.e.
6,00–6,40	–	n.e.	0,598	gyál

Mint a fentiekből látható a rendszer korántsem tökéletes és több pontján (bemeneti adatok száma, tartományértékei, tagsági függvények stb.) továbbfejleszthető. Mindenesetre jó lehetőséget kínál arra, hogy a bizonytalansággal terhelt, az őskörnyezeti értékelésben szerepet játszó üledékkategorizálás egyszerűbb, matematikai alapokon nyugvó folyamat legyen.

Összefoglalás

A löszök és paleotalajok bizonyos üledéktani és geokémiai paramétereik alapján, mállás és pedogenezis általi érintettségüknek megfelelően üledékkategóriákba, üledéktípusokba sorolhatók. Ezen kategóriák egymástól nem

8. táblázat. A Majs–3 számú feltárás üledékkategorizálásának eredményei. Jelmagyarázat: gyál – gyengén átalakult lösz, ál – átalakult lösz, eál – erősen átalakult lösz, pt – paleotalaj, efpt – erősen fejlett paleotalaj, n.e. – nincs eredmény

Table 8. Results of the sediment categorisation of the Majs–3 outcrop. Legend: gyál – weakly altered loess, ál – altered loess, eál – strongly altered loess, pt – palaeosol, efpt – strongly developed palaeosol, n.e. – there is no result

	Geokémia		Szemcseösszetétel	
Mélység (m)	Eredmény	Kategória	Eredmény	Kategória
0,00–0,40	0,586	gyál	0,586	gyál
0,40–0,80	0,603	gyál	0,585	gyál
0,80–1,20	1,52	ál	–	n.e.
1,20–1,60	–	n.e.	0,7	gyál
1,60–2,00	2,5	eál	0,608	gyál
2,00–2,40	2,5	eál	1,5	ál
2,40–2,80	2,5	eál	–	n.e.
2,80–3,20	2,5	eál	–	n.e.
3,20–3,60	1,56	ál	1,5	ál

9. táblázat. A bácsfapusztai feltárás üledékkategorizálásának eredményei. Jelmagyarázat: gyál – gyengén átalakult lösz, ál – átalakult lösz, eál – erősen átalakult lösz, pt – paleotalaj, efpt – erősen fejlett paleotalaj, n.e. – nincs eredmény, n.a. – nincs adat

Table 9. Results of the sediment categorisation of the Bácsfapuszta outcrop. Legend: gyál – weakly altered loess, ál – altered loess, eál – strongly altered loess, pt – palaeosol, efpt – strongly developed palaeosol, n.e. – there is no result, n.a. – there is no data

	Geokémia		Szemcseösszetétel	
Mélység (m)	Eredmény	Kategória	Eredmény	Kategória
0,00–0,20	0,592	gyál	–	n.e.
0,20–0,60	0,625	gyál	–	n.e.
0,60–1,00	1,5	ál	n.a.	n.a.
1,00–1,40	1,5	ál	n.a.	n.a.
1,40–1,80	1,5	ál	0,761	gyál
1,80–2,20	4,24	efpt	–	n.e.
2,20–2,60	–	n.e.	n.a.	n.a.
2,60–3,00	1,5	ál	0,68	gyál
3,00–3,40	4,3	efpt	n.a.	n.a.
3,40–3,80	4,4	efpt	n.a.	n.a.
3,80–4,20	4,32	efpt	n.a.	n.a.
4,20–4,60	–	n.e.	n.a.	n.a.
4,60–5,00	–	n.e.	n.a.	n.a.

válnak el élesen, azok sok esetben egymást átfedő, egymásba fokozatos átmenetet képező kategóriák. A fuzzy halmazok elméletének segítségével a besorolás, a löszök és paleotalajok egyes üledékkategóriákba tartozása matematikai módszerekkel adható meg. A két különálló, geokémiai és szemcseösszetételi adatokon, mint bementi paramétereken nyugvó rendszer segítséget nyújt az őskörnyezeti rekonstrukció során történő üledékkategorizálásban.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti MENTES Gyulát, aki felhívta figyelmemet a fuzzy halmazok elméletére és KALMÁR Jánost a dolgozat matematikai szempontú felülvizsgálatáért. őszinte hálával tartozom BALOGH Zsuzsannának a geokémiai, továbbá CZIGÁNY Szabolcsnak és DEZSŐ Józsefnek a szemcseösszetételi vizsgálatokban nyújtott segítségükért.

Köszönöm FÖLDVÁRI Máriának és GEIGER Jánosnak a kézirat gondos lektorálását és igen hasznos észrevételeiket.

Irodalom – References

BÁRDOSSY Gy. 2005: Szilárd ásványi nyersanyagtelepek megkutatottságának értékelése Bayes-féle valószínűségek és a bizonytalan halmazok elméletének segítségével. – *Földtani Közlöny* **135/1**, 57–77.

BÁRDOSSY GY., ÁRKAI P. & FODOR J. 2001: A bizonytalan halmazok elméletének alkalmazása röngendiffraktométeres ásványtani fázisanalízis eredményeinek értékelésére. – *Földtani Közlöny* **131/3–4**, 331–341.

BÁRDOSSY GY., FODOR J., MOLNÁR P. & TUNGLI GY. 2000: A bizonytalanság értékelése a földtudományokban. – *Földtani Közlöny* **130/2**, 291–322.

DEMICCO, R.V. & KLIR, G. J. 2004: Fuzzy Logic in Geology. – Elsevier Academic Press, 347 p.

FÖLDVÁRI M., BÁRDOSSY GY. & FODOR J. 2002: A bizonytalan halmazok elméletének alkalmazása kőzetminták termoanalitikai vizsgálatának értékeléséhez a Bodai Aleurolit Formáció példáján. – *Földtani Közlöny* **132/1**, 1–15.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957: Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. – *Journal of Sedimentary Petrology* **27/1**, 3–26.

FRIEDMAN, G. M. & SANDERS, J. E. 1978: Principles of Sedimentology. – John Wiley & Sons Inc., 58–81.

FULLÉR R. 1997: FULLÉR Róbert kutatási eredményei 1989–1997. http://www.abo.fi/~rfuller/hab.pdf

HABERLER, M. 2005: Einsatz von Fuzzy Methoden zur Detektion konsistenter Punktbewegungen. – *Geowissenschaftliche Mitteilungen*, Heft **73**, 115 p.

HARNOIS, L. 1988: The CIW index: A new chemical index of weathering. – *Sedimentary Geology* **55**, 319–322.

HEINE, K. 1999: Beschreibung von Deformationsprozessen durch Volterra- und Fuzzy-Modelle sowie Neuronale Netze. – *Deutsche Geodätische Komission, Dissertationen*, Heft **516**, 110 p.

HUM, L. 1998: Geochemical investigations of the Dunaszekcső loess-paleosoil sequence. – *Acta Mineralogica-Petrographica* **39**, 139–150.

HUM L. 2002: Délkelet-dunántúli löszösszletek ásványos és geokémiai jellegei és ezek eredete. – *Földtani Közlöny* **132 (különszám)**, 117–132.

HUM L. & FÉNYES, J. 1995: The geochemical characteristics of loesses and paleosols in the South-Eastern Transdanube (Hungary). – *Acta Mineralogica-Petrographica* 36, 89–100.

JOHNSON, D. M., HOOPER, P. R. & CONREY, R. M. 1999: XRF Analysis of Rocks and Minerals for Major and Trace Elements on a Single Low Dilution Li-tetraborate Fused Bead. – *Advances in X-ray Analysis* **41**, 843–867.

MATLAB 2004: Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. – MATLAB 7.0, The MathLab Inc.

NESBITT, H. W. & YOUNG, G. M. 1982: Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. – *Nature* **299**, 715–717.

PÉCSI M. 1993: Negyedkor és löszkutatás. – Akadémiai Kiadó, Bp., 375 p.
SCHNETGER, B. 1992: Chemical composition of loess from a local and worldwide view. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte/Abhandlungen* **1**, 29–47.
SÜMEGI P. 2001: A negyedidőszak földtani és őskörnyezettani alapjai. – JATEPress, Szeged, 262 p.
WEN, Q, YANG, W., DIAO, G., SUN, F., YU, S. & LIU, Y. 1984: The evolution of chemical elements in loess of China and paleoclimatic conditions during loess deposition. – In: PÉCSI M. (ed.): Lithology and stratigraphy of loess and paleosols. Geographical Research Institute Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 161–169.
WEN, Q., DIAO, G. & SUN, F. 1985: Geochemical characteristics of loess in Luochuan section, Shaanxi province. – In: PÉCSI M. (ed.): Loess and the Quaternary. Chinese and Hungarian case studies, *Studies in Geography in Hungary* **18**, 65–77.
ZADEH, L. A. 1965: Fuzzy sets. – *Information and Control* **8/3**, 338–353.

Kézirat beérkezett: 2006. 03. 31.

Földtani Közlöny 137/1, 41–61. (2007) Budapest

Kőolaj és földgáztermelés a XXI. században

Crude oil and natural gas production in XXI-st century

PÁPAY József[1]

(2 ábra, 2 táblázat)

Tárgyszavak: készlet; vagyon; várható készlet; konvencionális kőolaj/földgáz; igazolt, valószínű, lehetséges készlet; elsődleges, másodlagos, harmadlagos termelés; olajhomok; olajpala (márga); gáz-hidrát; cseppfolyósított földgáz, föld alatti gáztárolás; energiapolitika; geopolitika

Keywords: reserve; resource; expected reserve; conventional petroleum; proved, probable, possible reserve; primary, secondary, tertiary production; oil shale/sand; gas hydrate; liquid natural gas (LNG); gas to liquid (GTL); underground gas storage; energy policy; geopolicy

Abstract

The study brings into the focus the determinable and the accessibility dynamics of world crude oil and natural gas reserves, which guarantee 60% of energy demand of humanity on the basis of author's four and half decades industrial experience.

Nevertheless some questions of geo- and energy politics are analysed and explained also which are based on the technical point of view.

The article deals with conventional (cheap or easily producible) crude oil and natural gas reserve calculation methods according to reserve categories. The role of the unconventional reserves (oil sand, oil shale, low permeability rocks, stranded gas, natural gas hydrates) in the fulfilment of the energy demand also analysed.

After that the world crude oil and natural gas production rates are shown including the geographical locations of these reserves with production capacities of the most important countries. Based on this the energy strategy of USA, OPEC, Russia, China, EU and Hungary are explained.

This material was presented on the Conference "Mining: History and Future" at 11th, May 2005 organized by Hungarian Academy of Sciences (HAS) and Central Mining Museum and at 31st, January 2006 on the meeting of Geosciences Department of HAS.

Összefoglalás

A tanulmány az emberiség jelenlegi energiafelhasználásának 60%-át biztosító kőolaj- és földgázkészletek meghatározhatóságára és a készletek hozzáférhetőségének dinamikájára fókuszál a szerző a szénhidrogén kitermelő iparban eltöltött csaknem négy és fél évtizedes szakmai tapasztalata alapján. Mindamellett e szakterület látószögéből magyarázza és elemzi a geo- és energiapolitika néhány kérdését.

A tanulmány foglalkozik a konvencionális (könnyen kitermelhető, olcsó) kőolaj- és földgázkészletek mennyiségének meghatározhatóságával készletkategóriánként. Elemzi a nem konvencionális készletek (olajhomok, olajpala, kis áteresztőképességű kőzetek, elfekvő gázkészletek, gázhidrátok stb.) várható szerepét az energiaellátásban. Ezt követően előrejelzi az egész világra vonatkozó kőolaj- és földgázkitermelés várható ütemét, majd bemutatja a kőolaj- és földgázkészletek eloszlását az igazolt készletek alapján, és ennek figyelembe vételével magyarázza különböző országok energiastratégiáját: USA, OPEC, Oroszország, Kína, EU és végül Magyarország.

Bevezetés

Minden változáshoz, tevékenységhez és az élet fenntartásához energiára van szükség. Az adott társadalom működőképességét és fejlődését alapvetően a rendelkezésre álló energia mennyisége határozza meg. Az átalakított energia: hő, fény, mechanikai

[1]Mol Rt. Kutatás-Termelési Divízió 1117 Budapest, Budafoki út 49.

munka biztosítja a társadalom fennmaradását és fejlődését. Így az is kijelenthető, hogy az egyes társadalmak, társadalmi csoportok által felhasznált energia mennyisége jellemző azoknak a világban elfoglalt szerepére vagy akár hatalmi helyzetére.

Mindezekből az következik, hogy olcsó primer energiaforrások biztosítása alapvető. Mivel kijelenthető az, hogy a primer energiaforrások nagysága véges, ezért az energiaforrások különböző módon való hozzáférhetőségének biztosítása alapvető eleme a világpolitikának.

A primer energiaforrások mennyiségének felmérésével, a felmerülő energiaszükséglet nagyságának realitásával és a felhasználás optimális szerkezetének meghatározásával különböző tanácsadó irodák, kutatóintézetek, állami intézmények stb. foglalkoznak. A kérdés fontosságát alapvetően igazolja az, hogy a szinte valamennyi országban közvetlenül, vagy közvetve az energiapolitika a kormányok politikájának szerves részét képezi.

A XXI. század társadalmainak energiaellátása csak tudományos-műszaki fejlesztések és pénzügyi-politikai kompromisszumok segítségével és figyelembevételével lehetséges.

A XXI. század vélhetőleg egy átmeneti korszak lesz, amikor is a fosszilis energiahordozók (elsősorban a szénhidrogének) szerepe még meghatározó és közben kidolgozásra és bevetésre kerülnek a versenyképes helyettesítő energiaforrások.

A probléma összetettsége miatt a megoldást csak körvonalazni lehet és szabad.

A továbbiakban csupán a felmerülő energiaigényekhez tartozó kőolaj- és földgázkitermelés lehetőségeivel foglalkozom elsősorban műszaki megfontolások alapján érintve e szakterület látószögéből néhány, napjainkat is érintő geo- és energiapolitikai kérdést is.

Megjegyzem azt, hogy ezt a témakört részben vagy érintőlegesen több magyar könyv és publikáció is tárgyalja (Bárdossy & Lelkesné Felvári 2006, Vajda 2001, 2004, 2005) Itt hangsúlyozni kell azt, hogy nagyon fontos a szakterületi terminológia korrekt használata és a szakterületek specifikumának ismerete. Enélkül az anyagok megértése igen nehézkes, ill. téves konklúziók levonása is reális a lehetőség.

A világ hosszú távú energiaigényeinek várható alakulása

A világ energiaigényeinek várható alakulását az elmúlt időszak energiaigényének növekedési üteme és a várható gazdasági növekedés figyelembevételével határozzák meg. Többféle előrejelzés van, különböző (pl. 0, 1, 2, 3%) gazdasági, ill. kőolaj felhasználás növekedésének figyelembevételével.

Exxon Mobil előrejelzése alapján megállapítható, hogy várhatóan az elkövetkező 25 évben:

– Az energiaigények több mint 1,5 szeresére növekednek, legnagyobb a növekedési ütem Ázsiában (Kína, India).

– A növekvő energiaigények kielégítésében továbbra is jelentősek a fosszilis eredetű energiaforrások, elsősorban a szénhidrogének (63%), a földgázfelhasználás növekedési üteme csaknem kétszerese a kőolajénak.

– A fluidumok halmazállapotában lévő különbség miatt a kőolajat elsősorban belsőégésű motorban, míg a földgázt villamos erőművekben hasznosítják az ipari és lakossági fogyasztás mellett.

– A megújuló energiaforrások és az atomenergia részvételi aránya az összes energiaigény kielégítésében már nem elhanyagolható.

Exxon Mobil előrejelzése szerint 2030-ban az egyes energiahordozók aránya a következő: kőolaj (37%), földgáz (26%), szén (21%), nukleáris (5%), hidro (3%), biomassza (6%), nap-szél (2%) (Oil and Gas Journal).

A világ kőolaj- és földgázkészleteinek, ill. a kitermelési ütemeknek a meghatározhatósága

A felmerülő energiaigények kielégíthetősége érdekében fel kell mérni a rendelkezésre álló készleteket. Ez csak közelítésként, becslés szintjén lehetséges, amit a következőkben indokolunk. Készlet (reserve) alatt a jelenlegi technológiai színvonal mellett gazdaságosan még kitermelhető kőolaj és földgáz mennyiségét értjük. Ettől meg kell különböztetni a telepben, kezdetben lévő összes mennyiséget (magyar fluidumbányászati terminológia: „vagyon"; angol terminológia: resource)

Jól ismert a szakemberek körében az a tény, hogy egy geológiailag jól megkutatott terület esetén a mező termelésbe állítása időpontjában a „vagyon" felmérése csak ± 20–30%-os pontossággal lehetséges. A termelés során, amikor a készlet 50%-át kitermelték a meghatározás pontossága ± 5–10%, a kitermelés végén ± 0%. Az is előfordult már a gyakorlatban, hogy a készlet kitermelése után is csak hozzávetőlegesen sikerült a „vagyon" nagyságát becsülni. A két mennyiség hányadosa a kihozatali tényező (PÁPAY 2003). A továbbiakban csak a készletekkel foglalkozunk.

A világ szénhidrogén készleteinek felmérése ilyen pontossággal távolról sem lehetséges. Ennek több oka van:

– a világ jelenlegi és jövőbeni kőolaj- és földgázmezőire vonatkoztatva csak tájékoztató adatbázissal rendelkezünk (DOE, EIA, IAE, ASPO),

– a világon különbözőképpen minősítik a készleteket (pl. SEC, SPE, WPC, AAPG, ill. a volt keleti blokk országai által használt kategóriák stb.),

– a bejelentett készletek nagyságát esetleges tévedések mellett gazdasági, politikai megfontolások is befolyásolhatják (gondoljunk az OPEC kvóta meghatározására, egyes esetekben készletek eltitkolására, vagy akár készlet-felülvizsgálat miatti korrekciókra – Shell vagy Repsol stb. felülvizsgálata során a készleteket kénytelenek voltak csökkenteni).

Az energiaigények biztosításához ismerni kell a kiépített termelő kapacitásokat is. A művelés előrehaladásával, a még kitermelhető készletek csökkenésével egyre nagyobb ráfordításokkal lehet csak a csökkenő ütemű termelést fenntartani. A kitermelő kapacitások nagyságát sok esetben csak a tulajdonos ismeri.

A készletek hozzáférhetőségének dinamikáját (a pillanatnyi termelési ütemet) a kiépített kapacitások mellett politikai, ill. gazdaságpolitikai szempontok is befolyásolják. Ezért kijelenthető, hogy az adott volumenű készlethez tartozó termelési ütem meghatározása csak becslés szintű pontossággal lehetséges.

A kitermelés dinamikájának becslésére többféle közelítő módszert alkalmaznak, amit a következőképpen lehet csoportosítani:

K. HUBBERT módszere (1956): feltételezi, hogy a termelés lefutása hasonló függvény szerint alakul, mint a készletek felkutatása, de időbeli eltolódással. A módszer lényegében egy tájékoztató becslés.

Logikai vagy fenomenológiai függvények: a már ismert, termelés kezdetéhez tartozó kapacitásadatokra logikai függvényeket illesztenek, melynek segítségével az időkonstans meghatározható és így a termelés további alakulása megbecsülhető, vagy pedig analógia alapján alkalmazzák az összefüggéseket. Ez a eljárás is nagy bizonytalansággal terhelt közelítés.

Valószínűség számítással (az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának módszere – USGS): lényegében Monte Carlo analízist alkalmaznak a készletek felmérésére, és ehhez határozzák meg az éves termeléseket az adott feltételekhez, algoritmusok alapján. Pontosságát tekintve tájékoztató eljárás.

Klasszikus rezervoármérnöki (és geológiai) elemzés-tervezés: ez a legpontosabb módszer, mivel az adott ismertségű medencében elhelyezkedő telepek paramétereit, fluidum tulajdonságokat, termelési lehetőségeket felmérve, különböző leművelési technológiák alapján történik a kitermelhető mennyiségek meghatározása gazdasági szempontok figyelembevételével. Ennek a módszernek az alkalmazására a világ összes telepére vonatkoztatva nincs egységes adatbázis, az adatok hiánya és a nagy munkaigény miatt gyakorlatilag nincs is rá lehetőség. Ha vannak is értékelések ezek általában nem publikusak, a tulajdonos általában nem hozza az eredményeket nyilvánosságra. Ezért az egész Földre vonatkozó pontos előrejelzés kivihetetlen.

Fentiek alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a készletek nagyságának megállapítása, a készletekhez való hozzáférés ütemének meghatározása csak tájékoztatóan lehetséges, de ugyanez mondható az igények felmérhetőségének pontosságáról is. Ebből eredően, az energiaigény kielégíthetőségével, ill. az energiahordozók részvételi arányával kapcsolatosan a vita óriási, amely sokszor a gyűlöletig fajul. A reális kép kialakítása miatt mind a pesszimista, mind a optimista érveket meg kell hallgatni és elemezni kell.

A kőolaj- és földgázigényeket és a termelési lehetőségeket, annak ellenére, hogy a kőolaj és földgáz azonos eredetű (ikertestvérek) külön kell tárgyalni, mivel mindkettőnek más és más a szerepe a primer energiaforrások között.

A kőolaj („fekete arany") és földgáz („kék arany") tulajdonságaiban alapvetően különbözik, ami meghatározza mind a kitermelés módját, hatékonyságát, szállíthatóságát, felhasználását, a felhasználás során a környezetterhelést és végül a két energiahordozó jövőbeni szerepét is.

A kőolaj és földgáz főbb tulajdonságait az alábbi táblázat foglalja össze:

	Tulajdonságok	Kőolaj	Földgáz	Megjegyzés
1	Formula	C_nH_{2n+2}	CH_4	n >> 5
2	Kompresszibilitás (1/bar)	10^{-5}–0,01	10^{-3}–1	–
3	Viszkozitás (cP)	0,5–105	0,01–0,03	–
4	1 bar nyomáson és 15 °C-on 1 m³-ben lévő anyag mennyisége (kg)	650–800	0,65–0,8	–

A fenti táblázathoz meg kell jegyezni, azt hogy az egyszerűség miatt a szénhidrogéneket a paraffin sor jellemzi. A földgázt C1-nek, a kőolajat pedig pentánnál nehezebb komponensnek (n>>5) tekintettük. Ez az egyszerűsítés az általánosítást nem befolyásolja.

Az 1. tulajdonság meghatározza az összes tulajdonság mellett a környezetterhelés mértékét (kőolaj esetén nagyobb a C-atomszám aránya a hidrogénhez, mint földgáz esetén: 1:2 ill. 1:4).

A 2. és 3. tulajdonság meghatározza a kitermelés módját és hatékonyságát.

A 3. és 4. tulajdonság meghatározza a szállítás módját.

A 4. tulajdonság a jelenlegi technológiai színvonalon, pedig a felhasználás lehetőségét.

Földünk kőolajkészletei és a termelés várható alakulása

Konvencionális készletek

Konvencionális készleteknek a könnyen, relatíve „olcsón" kitermelhető készleteket nevezzük

A véges készletek problematikája nem mai keletű. Már az 1980-as években felismerték, hogy a kitermelt mennyiség meghaladja a feltárt készletek volumenét, ami nem kis riadalmat okozott (Római klub figyelmeztetése).

Amint az előző pontban megjegyeztük, nincs egységes módszer a végső kitermelhető mennyiségeket illetően, a forrástól eredendően más és más, széles intervallumban szóródó mennyiségeket becsülnek meg.

Mivel a mennyiségek alapvetően meghatározzák a kőolajjal való ellátás lehetőségét, ezért az eltérő mennyiségek miatt a konklúziók is lényegesen különböznek egymástól.

Az alábbiakban három módszer segítségével történt becslés szerinti készleteket, ill. olajtermelés lehetőségét vázoljuk megjegyezve azt, hogy a földgáztermelés esetén is alkalmazzák ezeket a módszereket:

C. CAMPBELL előrejelzése – K. HUBBERT módszerével

C. CAMBELL a jövőben feltárandó készletek mennyiségét az előző időszak eredményességéből becsüli 2050-ig úgy, hogy exponenciális csökkenést feltételez az eredményességben. Ezt a feltárási ütemet elfogadva, a kitermelés dinamikáját K. HUBBERT módszerével határozza meg, amit az *1. ábrán* szemléltetünk. C. CAMBELL szerint a kőolajtermelés maximuma 2004, amit végül is már túlhaladtunk.

USGS (Egyesült Államok Geológiai Szolgálata) módszere

Földtani (művelési-termelési) viszonyok, és lehetőségek alapján készletkategóriánként becsüli adott gazdasági növekedés, ill. kőolajfogyasztás (0, 1, 2, 3 %) figyelembevételével valószínűség-számítással.

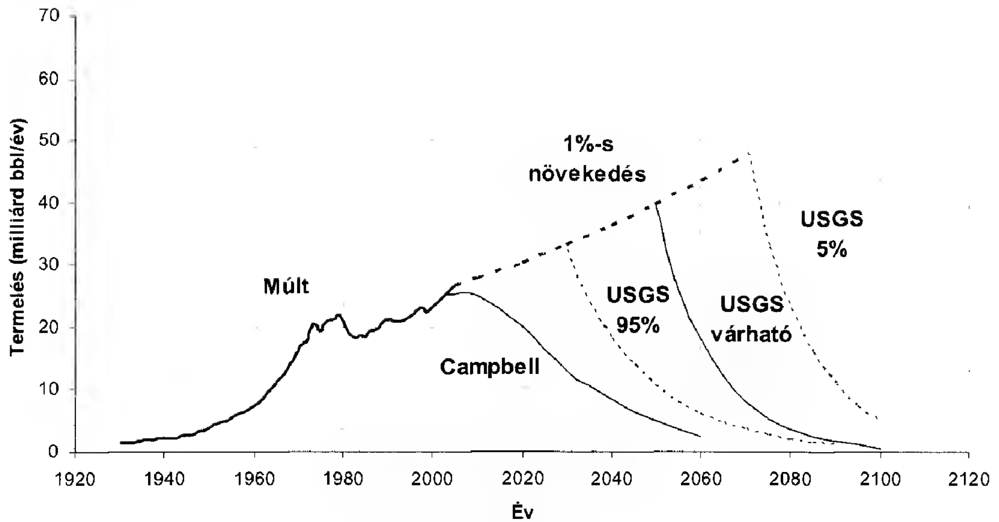
A készletek mennyiségéhez a következő készletkategóriák tartoznak:

– minimális készlet (P): 95% valószínűség; igazolt készletek,

– közepes készlet (PP): 50% valószínűség; igazolt + valószínű készlet,

– maximális készlet (PPP): 5% valószínűség; igazolt + valószínű + lehetséges készlet,

– várható készlet: valószínűséggel súlyozott készletek összege.



1. ábra. A világ kőolajtermelése

Fig. 1. World oil production

Meg kell jegyezni azt, hogy a New York-i Tőzsde (SEC) csak a igazolt készleteket ismeri el és tiltja a különböző valószínűségű készletek összeadását. Ezért az igazolt készleteken alapuló előrejelzések túl óvatosak, ill. pesszimisták, mivel nem fogadják el a jövőbeni, földtani kutatás, műszaki-tudományos fejlesztések eredményeiként bekövetkező készletek növekedésének lehetőségét.

Ha elfogadjuk a műszaki-tudományos fejlesztés eredményeként a készletnövekedést és az a várható készlet, akkor a készlet/pillanatnyi termelés hányadosa, amit (helytelenül) a hazai terminológiának megfelelően „készlet-ellátottsági mutatónak" nevezünk, több mint másfélszeresére nő.

Készlet-ellátottsági mutató igazolt készletek esetén 50 év, várható készlet esetén 80 év. Ez azt jelenti, hogy a jelenlegi kőolajfelhasználás feltételezésével az igazolt készletek 50 évig elegendőek, míg a várható kutatások eredményeként akár (legfeljebb) 80 évig is.

Az USGS módszere alapján meghatározott minimális készlet is lényegesen meghaladja Campbell által feltételezett kitermelhető mennyiségeket.

Legnagyobb gazdasági növekedésnél (legnagyobb kőolajfelhasználás esetén), minimális készlet esetén az olajkitermelés maximuma 2020-ban várható, a Campbell által meghatározott 2004. évvel szemben.

Az *1. ábrán* szemléltetjük C. Campbell és USGS által várható olajkitermelés alakulását összehasonlítás céljából. Az ábrán az USGS esetén az 1%-os olajtermelés növekedéshez tartozó termelésalakulást tüntettük fel. Ebben az esetben a kőolajkitermelés maximuma 2032-ben esedékes.

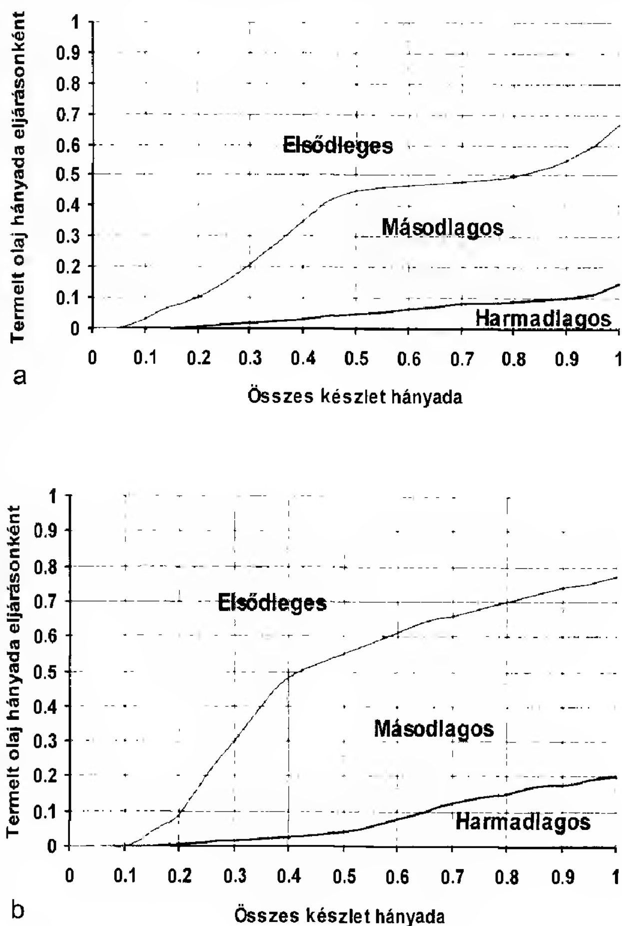
EIA (Energy Information Administration, USA) módszere

Elfogadja az Oil and Gas Journal által közölt igazolt készletek nagyságát, ehhez becsüli a technológiai fejlesztések és az új felfedezések többleteredményét USGS és World Petroleum Assesment adatai alapján.

A három forrás szerint a készletek nagysága a következő:

Forrás	Összes készlet (10^9 bbl)	Kitermelt készlet (10^9 bbl)	Jelenleg rendelkezésre áll (10^9 bbl)
C. Campbell	1750	950	800
USGS 95%	2248	950	1298
USGS várható	3003	950	2053
USGS 5%	3896	950	2946
EIA igazolt			1227
EIA 2025-ig tech. fejlesztés			730
EIA új felfedezés			939
EIA összes			2896

A kitermelési módszerek hatékonyság-növelésének a készletellátottságban óriási szerepe van, hiszen 1% hatékonyságnövelés kb. 3×10^9 m^3 vagyonú olajmező megtalálásával egyenértékű. Kezdetben a telepeket természetes energiával művelték (elsődleges), majd 1940–50-es évektől, ahol szükséges vizet vagy gázt sajtoltak be (másodlagos), mintegy 1,5–2 -szeresére növelve a gazdaságosan kitermelhető menynyiséget. 1960–70-es évektől kidolgozták az ún. harmadlagos eljárásokat, amikor bonyolult energiahordozók besajtolásával (elegyedő gázok, termikus energia, kémiai anyagok stb.), bizonyos esetekben a vízelárasztáshoz képest 10–12% többleteredményt lehet elérni. Minél bonyolultabb hatásmechanizmusú eljárást alkalmaznak a kitermelésre annál drágább, ill. költségesebb a termelés. A jelenleg felkutatott menynyiségek 35%-át tudjuk csak átlagosan kitermelni. Ez az érték 2050-ig várhatóan 45–(50)%-ra nő, mint maximális lehetőség.



2. *ábra.* A világ (a) és az USA (b) kőolajtermelése hatásmechanizmusonént

Fig. 2 Driving mechanismus of oil production of the World (a) and of the USA (b)

A világ országai attól függően, hogy a fogyasztásukhoz képest mekkora készletekkel rendelkeznek, a gazdálkodásuk gondossága más és más, amit a 2. *ábra* szemléltet a szerző feldolgozása alapján. Míg USA mindent megtesz a készletek növelésére, addig az exportáló országok jelenleg az olcsóbb kőolaj kitermelésére fektetik a hangsúlyt.

A kőolaj-hozzáférés fontosságát mutatja az, hogy USA 400 ezer olyan kúttal rendelkezik, amelyek átlagos napi termelése kb. 0,3 m^3. Ezek az ún. stripper olajkutak.

Általában elmondható mind a konvencionális, mind a nem konvencionális kőolaj esetén, hogy amennyiben megváltozik a gazdasági környezet, a régi technológiák helyett új módszereket vezetnek be (értelmezés, mérés, hardware stb.), akkor jelentős készletnövekedés lehetséges. Ez történt pl. a volt Szovjetunió esetén is. A nyugati technológia bevezetésével, ill. szakmai gondolkodás alkalmazásával a kőolajkitermelés visszaesését megállították, jelentősen emelve a kitermelhető mennyiségeket. Ez a lehetőség a világ több országában adott.

Kutatás alatt álló termelési eljárások (nem konvencionális kőolajkészletek)

A nem konvencionális készleteknek a nehezen hozzáférhető, ill. drágán kitermelhető készleteket nevezzük. A műszaki-tudományos fejlesztés ezen a területen is rendkívül fontos.

A technológiai kutatás fontosságát mutatja az, hogy Kanada kb. 20–30 éves kutatás eredményeként jó hatásfokkal megoldotta az olajhomok (oil sand), vagy bitumen kitermelését, ezzel készletek vonatkozásában második helyre került Szaúd-Arábia után. E telepek művelése 35 USD/bbl olajárnál már rentábilis.

A bitumen lényegében nagy viszkozitású kőolaj, amit szilárdásvány bányászati módszerek esetén a homokkal együtt kitermelnek és azt a homoktól oldószerrel, elválasztanak, és tovább finomítják (krakkolás). Ezzel a módszerrel csak korlátozott mennyiséget tudnak feldolgozni.

Ezen típusú készletek növelésében alapvető szerepe lett az olajbányászati módszereknek: termikus energiával teszik mozgóképessé a rétegviszonyok között alig áramlóképes olajat, amikor is horizontális kutakat alkalmaznak: felül elhelyezett horizontális kúton sajtolják be a gőzt, alatta 5–7 m távolságra elhelyezett kúton történik a kitermelés (gőzzel segített gravitációs technológia – SAGD). Az eredményesség feltétele a kőzet jó áteresztőképessége, amit a homok biztosít. Jelentős olajhomok mennyiség található Venezuelában is. A gazdaságosan kitermelhető olajhomok bitumentartalma kb. 25 gal/tonna vagy nagyobb.

Az olajpalák (oil shale – olajmárga) gazdaságos kitermelése még nem megoldott. A nem vagy igen kis áteresztőképességű márga, ill. kőzet jelentős mennyiségű szerves anyagot (kerogén) tartalmaz, amit ez idáig csak szilárdásvány-bányászati eszközökkel tudtak termelni és a felszínen a kerogént pirolízissel olajjá alakítani. Az Egyesült Államokban található a világ olajpala mennyiségének 60%-a. Kitermelés szempontjából a kerogén-olaj tartalomnak nagyobbnak kell lenni, mint 25–30 gal/tonna. Mivel a kitermelésnél a kőzet áteresztőképessége miatt olajbányászati eljárások nem, ill. csak igen drágán alkalmazhatóak, ezért a széleskörű gazdaságos eljárás elterjedése korlátozott.

A jelenlegi technológiai problémák ellenére az USA az olajmárgát stratégiai tartaléknak tekinti. Meg kell jegyezni azt, hogy az olajpalát a magas szervesanyag tartalma miatt el lehet égetni (pl. Észtország, Kína stb.), de rendkívül környezetszennyező.

Amennyiben a kanadai és venezuelai olajhomokot és az USA olajpaláit gazdaságosan termelésbe tudják állítani, akkor Észak-Amerika olajkészletekkel való ellátása akár 100 évre is megoldott. Ezért a gazdaságos technológia kidolgozására óriási pénzösszegeket fordítanak.

Földünk földgázkészletei és a termelés várható alakulása

Konvencionális földgázkészletek

A földgáz kedvező áramlási tulajdonságai miatt kb. 80%-os hatásfokkal termelhető ki a kőzetekből.

A földgázkészletek meghatározásának megbízhatóságáról ugyanaz mondható el, mint az ismertetett kőolajkészletekről.

EIA adatai alapján a világ fölgázkészletei, ha 2025 ig vesszük figyelembe a kutatási eredmények készletnövelésének várható eredményeit is az alábbiak:

Készlettípus	Mennyiség (10^{12} cuft)
Igazolt készlet	6040
2025-ig felfedezésre váró	4301
2025-ig elfekvő gázok termelésbe állítása	2347
Összes	12688

Míg a jelenleg az igazolt készletekhez és jelenlegi termeléshez tartozó élettartam („készletellátottság") 63 év, addig a várható készletekre vonatkoztatva 132 év.

Az olajkészletek csökkenése, valamint környezetbarát hasznosítási lehetősége magyarázza azt, hogy az elmúlt 20–25 év alatt a földgáz mindinkább előtérbe került, mint primer energiahordozó és a jövőben a szerepe egyre nagyobb lesz.

Ezt az tette lehetővé, hogy a csővezetékes szállítás mellett megoldották az óriási volumenekben történő földalatti gáztárolást és a cseppfolyós formában (LNG: liquid natural gas) történő gázszállítást. Ez azt eredményezi, hogy óriási tároló- és szállítórendszerek épültek/épülnek és fognak épülni.

A tárolók a rendszer akkumulátorai, amelyek feladata a nyári és téli gázfogyasztásbeli eltérés kompenzálása a kitermelés, szállítás hatékonyságnövelése érdekében. Általában az évi fogyasztás 20%-a kerül tárolásra, esetlegesen havária-, (csúcs- és biztonsági) tárolók figyelembevételével. A tárolók kiépítésének dinamizmusát a következő számsorok jellemzik (Kőolaj és földgáz):

Év	Tárolók száma	Aktív gáz (10^9 m^3)
1996	554	243
2001	571	
2003	634	340
(2020)		340+170
(2030)		340+170+220

Látható, hogy a tárolókapacitás több mint kétszeresére növekszik a következő 25 év alatt.

A cseppfolyósított földgáz (LNG) részaránya a nemzetközi gázkereskedelemben a következő:

Év	Részarány (%)
2001	23
2010	25–31
2020	31–37

Látható, hogy az LNG szerepe egyre inkább meghatározó. Gyakorlatilag ezzel a megoldással világméretű gázszállító rendszerek épültek és épülnek ki, a kőolajhoz hasonlóan.

Itt jegyezzük meg, hogy 1 m^3 cseppfolyós gáz 600 m^3 normál térfogatú gáznak felel meg. A cseppfolyósítás –160 °C-on történik. A szállítóhajók térfogata $150–180 \times 10^3$ m^3, a közeljövőben 250×10^3 m^3 kapacitású hajókat és azokból álló hajóflottákat építenek. A hajók lényegében úszó üzemek, vannak akik „úszó atombombáknak" tekintik ezeket. Itt meg kell jegyezni azt, hogy baleset esetén távolról sem olyan környezetszennyezők, mint a 10^6 m^3 szállítókapacitású tartályhajókkal fuvarozott kőolaj vagy a rossz példaként említett atombomba.

A rendszer tehát a következőkből áll: cseppfolyósító technológia a berakodó kikötő közelében – szállítóhajó, mint úszó üzem – elpárologtató rendszer a fogadó kikötő közelében.

A *3. ábrán* szemléltetjük – a szerző által kidolgozott algoritmusok alapján – a fölgáz termelés várható alakulását, ha a gáz fogyasztása évenként 2%-kal nő és a készletek nagysága az igazolt, ill. a várható értéknek felel meg.

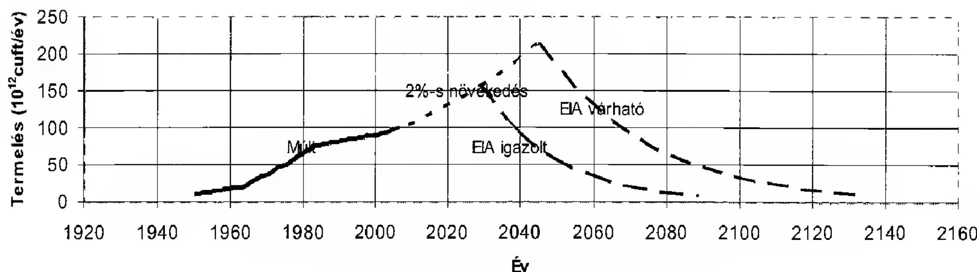
A *1.* és *3. ábra* eredményei összeadhatók, ha a kitermeléseket pl. olaj egyenértékben számítjuk.

Kutatás alatt álló kitermelési eljárások (nem konvencionális készletek)

Ebbe a kategóriába tartoznak:
- a kis áteresztőképességű tárolókban lévő gázok,
- földgázhidrátok,
- elfekvő készletek hasznosítása.

Kis áteresztőképességű tárolókban lévő gázok (<0,1 mD) termelési lehetősége nem elhanyagolható egyes országok gázellátása szempontjából. Ide tartoznak a kis áteresztőképességű homokkövekben, márgákban és szén-telepekben felhalmozódott gáznemű szénhidrogének.

Az USA ezen típusú gázvagyonának 70%-a homokkövekben, 20%-a széntelepekben, 10%-a márgákban helyezkedik el. A kutak termelése rétegrepesztés után sem több mint 5000 m^3/nap, ami ma már gazdaságos. USA 260 ezer db ilyen kapacitású kúttal rendelkezik. E típusú „gázkészleteket" az USA hosszútávon figyelembe veszi a földgázigénye biztosításához. Elsősorban a Sziklás-hegység földtani medencéiben a kis áteresztőképességű homokkövek termeltetése dominál.



3. ábra. A világ földgáztermelésének várható alakulása

Fig. 3 Prospective production of world gas

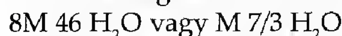
A kis áteresztőképességű homokkövekben, márgákban a gázfelhalmozódás geológiai története még pontosan nem ismert, így az sem, hogy a kőzettérfogatban a gáz folyamatosan hidrodinamikai egységben, vagy nem folytonosan helyezkedik el. Ennek ismerete a mennyiség megbecslésében lenne fontos. A víztelítettség nagy és a kihozatali tényező is várhatóan kicsi (10–30%). E területekről származik jelenleg az USA gáztermelésének 18%-a, ami várhatóan 2025-re 39%-ra növekszik.

Ezen telepek kitermelése nagy beruházásigényű, ezért a gázt a vagyonhoz képest viszonylag kis ütemmel termeltetik. Ezek a gázok egyes országokban relatíve jelentősek, azonban az egész világra vonatkoztatva a mennyiségük nem számottevő.

Összehasonlításként megemlítjük azt, hogy konvencionális (jó áteresztőképességű) földgáztelepek kútkapacitásai a fenti értékek többszörösei: pl. hazánkban a kutak kapacitásai 100–500 ezer m³/nap, de a világban igen gyakoriak az 1–2 millió m³/nap kapacitású kutak.

Gázhidrátok: a jelenlegi becslések szerint a gázhidrátokban lévő gáz (alapvetően C_1H_4) mennyisége többszöröse a jelenleg ismert szerves eredetű energiaforrásoknak. A földgázhidrátok kristályos anyagok, amelyek a szénhidrogén – és vízmolekulák asszociációja útján képződnek. A gázhidrátok a gázok szilárd oldatainak tekinthetők. Külső formájukban a tömör hóra emlékeztetnek. Gazdaságos kitermelésük nem megoldott. Néhány típusú gáz – C_1H_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}, CO_2, N_2, H_2S – a vízzel pozitív hőmérsékleten (0–25 °C között) és a hőmérséklettől függően 30–500 bár nyomás felett szilárd fázisú, de metastabilis rendszert alkot. A hidrátszerkezet megbontható a hőmérséklet növelésével és/vagy a nyomás csökkentésével és/vagy vegyszerek alkalmazásával.

A szénhidrogénekkel alkotott hidrátok képlete:


8M 46 H_2O vagy M 7/3 H_2O

Ez azt jelenti, hogy szénhidrogén-hidrát felbontása esetén 1 m³ vízhez 220–160 m³ gáz tartozik, amely kitermelési szempontokat tekintve igen kis mennyiség. Egyes esetekben elképzelhető a gazdaságos termelés, de összességében csak a távoli jövő lehetősége. Várhatóan a gázhidrát mezők termelésbe állítása sokáig még a tudományos kutatások tárgya lesz.

Összehasonlításként megemlítjük azt, hogy egy hidrátmező termelése olyan konvencionális típusú olajtelep termeléséhez hasonlítható, amikor is 98%-os vízzel termeljük az olajat EOR módszerrel (pl. gőzbesajtolás), ami jelenleg gazdaságilag elfogadhatatlan.

Elfekvő gázkészletek hasznosítása: néhány szót kell szólni azokról a technológiákról is, amelyek a felhasználás helyétől távol lévő gázforrások felhasználását teszik lehetővé úgy, hogy a földgázt különböző formában folyadékká alakítják át a szállíthatóság érdekében. A technológia gyakorlatilag megoldottnak tekinthető, amikor is a földgázt különböző vegyipari technológiákkal diesel olajjá, benzinné, PB-vé, metanollá, dimetiléterré stb. alakítják a szállítás miatt. Ezeket a technológiákat egységesen GTL (gas to liquid) eljárásoknak nevezik.

Jelentős mennyiségek esetén e típusú gázok LNG formájában is eljuttathatók a felhasználás helyére. Kisebb mennyiségek esetén a nagynyomású gázszállítás megoldását is vizsgálják speciális tartályok segítségével.

A geo- és energiapolitika kapcsolata

A geopolitika a világ valamennyi országának, társadalmának az életét és életminőségét befolyásolja.

A geopolitika megértéséhez tisztában kell lenni a fogyasztási helyek, az olaj és gázkészletek földrajzi eloszlásával, a kőolaj és földgáz várható árával, valamint napjaink történéseinek hátterével (Petroleum Economist, World Oil).

Olaj- és gázkészletek, valamint a termelőkapacitások földrajzi eloszlása

A geopolitika és energiapolitika kapcsolatának elemzéséhez át kell tekinteni a világ különböző helyein felkutatott készletek, és a kiépített kapacitások nagyságát mind kőolajra, mind pedig földgázra vonatkozóan.

Az *1. táblázat*ban foglaltuk össze az igazolt olajkészletekre vonatkoztatva az Oil and Gas Journal adatai alapján a szerző feldolgozása szerint. Kanadai készlet tartalmazza az olajhomokból kitermelhető mennyiségeket is. Opec a világ igazolt kőolajkészleteinek 69%-ával rendelkezik és az OPEC országok készleteinek a készletekhez viszonyított megcsapolási üteme nagyságrenddel kisebb a többi országénál. Pl. az USA készletellátottsága ~11 év, míg Oroszországé a közölt adatok alapján ~18 év.

A „készletellátottsági mutató" a pillanatnyi készlet és a pillanatnyi éves termelés hányadosa. Tehát nem azt fejezi ki, hogy az adott ország hány évig van készletekkel ellátva, mivel az export, ill. import mennyiségek ezt a számot módosítanák.

Az *1. táblázatban*, tájékoztatás céljából feltüntettük az átlagkútra vonatkozó kútkapacitásokat, amellyel a kitermelés költségei is arányosak. Megállapítható, hogy ez széles intervallumban változik. Általában elmondható, hogy a kitermelési költségek tekintetében az OPEC országok vannak kedvező helyzetben.

A *2. táblázat* foglalja össze az igazolt földgázkészleteket, ami ugyancsak azt bizonyítja, hogy az OPEC országok + Oroszország (a volt Szovjetunió) igen szerencsés helyzetben van, míg a nagy energiafogyasztók Észak-Amerika, Nyugat-Közép-Európa földgáz készletei viszonylag nem számottevőek. A világ földgázkészleteinek 51%-val az OPEC, 28%-val Oroszország rendelkezik.

Az egyes kitermelő terület egységek készlet ellátottsági mutatói az Oil and Gas Journal adatai alapján a következők: Észak-Amerika 8 év, Latin-Amerika 48 év,

1. *táblázat.* A világ igazolt kőolaj készletei 2006. január 1. állapot, Az első 20 ország adatai
Table 1 World proved oil reserves at 1st January 2006, Data of first 20 countries

Ország	Készlet (milliárd bbl)	Részarány (%)	Készlet-Ellátottság (év)	Kapacitás (millió bbl/nap)	Átlagkút termelés (bbl/nap)
Szaudarábia	259,4	20,07	81	8,75	5609
Kanada	178,8	13,83	202	2,42	48
Irán	125,8	9,73	88	3,9	3482
Irak	115	8,90	158	2	1187
Abu-Dabi	99,2	7,67	136	2	1666
Kuvait	99	7,66	135	2,01	2544
Venezuela	77,2	5,97	96	2,21	1040
Oroszország	60	4,64	18	8,9	233
Libia	39	3,02	69	1,55	1053
Nigéria	35,3	2,73	41	2,34	984
USA	21,9	1,69	11	5,42	11
Kína	18,3	1,42	14	3,49	48
Katar	15,2	1,18	53	0,78	1853
Mexikó	14,6	1,13	12	3,38	1107
Algéria	11,8	0,91	27	1,2	934
Brazilia	10,6	0,82	20	1,48	123
Kazahsztán	9	0,70	25	0,97	1376
Norvégia	8,5	0,66	8	3	3745
Azerbaidzsán	7	0,54	64	0,3	2308
Oman	5,5	0,43	20	0,77	335
Összes	1211,1	93,69		56,87	
Világ többi országa	81,5	6,31		14,92	
Világ összes	1292,6	100,00		71.79	
OPEC	885,2	68,49			

Nyugat-Európa 26 év, a volt Szovjetunió 76 év, Afrika 67 év, Közel-Kelet 234 év és Ázsia-Óceánia 52 év.

USA esetén földgázra vonatkoztatva is meglehetősen kiélezett a helyzet. Importra szorul, elsősorban Kanadából, (részben Mexikóból) gázvezeték-rendszeren keresztül, másrészt LNG formájában, mindamellett rá van kényszerítve a Sziklás-hegység területén elhelyezkedő rossz áteresztőképességű mezők termeltetésére is.

Nyugat-Európa helyzete sem rózsás. Az Északi-tenger területén elhelyezkedő mezők termelése az igényekhez képest csökken. Az olajmezők már elérték a csúcskapacitásukat, a gázmezők pedig Norvégia esetén várhatóan 2008-ban termelnek maximális ütemmel. Ugyanez a tendencia mutatható ki Nagy-Britannia felségvizeihez tartozó mezők esetében is.

Megállapítható, hogy a kőolajellátásban alapvető szerepe van az OPEC-hez tartozó országoknak.

Hasonlóan lehetne jellemezni a földgázellátottság helyzetét is, azzal a kiegészítéssel, hogy a volt Szovjetunió országai (elsősorban Oroszország) termelési lehetőségei kiemelkedően jók. Így Oroszország a világ egyik legnagyobb gázexportőre lett úgy, hogy az energia felhasználásának több mint 50%-a földgázbázisú.

2. táblázat. A világ igazolt földgázkészletei-2006 január 1. állapot, Az első 20 ország adatai
Table 2 World proved gas reserves at 1st January 2006, Data of first 20 countries

Ország	Készlet (ezer milliárd cuft)	Részarány (%)
Oroszország	1680	27,81
Irán	940	15,56
Katar	910	15,06
Szaúd-Arábia	235	3,89
Abu Dabi	196	3,25
USA	189	3,13
Nigéria	176	2,91
Algéria	161	2,66
Venezuela	151	2,50
Indonézia	90	1,49
Malézia	75	1,24
Norvégia	74	1,22
Türkmenisztán	71	1,18
Üzbegisztán	66	1,10
Kazahsztán	65	1,08
Hollandia	62	1,03
Egyiptom	59	0,97
Kanada	57	0,94
Kína	53	0,88
Líbia	52	0,86
Összes	5361	88,73
Világ többi országa	681	11,27
Világ összes	6042	100,00
OPEC	3092	51,17

Az energiaellátás lehetőségét tovább bonyolítja, hogy a gazdaság fejlődésével új országok is fogyasztóként lépnek fel: Kína és India. Ezek az országok elsősorban a Közel-Keletről, a volt Szovjetunió tagállamaitól kívánják az energiaigényeiket biztosítani, de valójában megjelennek kutatási területek megszerzése, mezők felvásárlása céljából, ill. különböző olaj- és gázipari aktivitással a világ minden területén. A fentiek alapján megállapítható, hogy a világ energiaellátásának biztosításában kőolaj és földgáz vonatkozásában alapvető szerepe van az OPEC és a volt Szovjetunió országainak.

Az energiafelhasználás nagysága sok tényezőnek a függvénye, az optimális energiafelhasználás szerkezetének kialakítása nem egyszerű feladat. Rendkívül nagy az energiapazarlás, a legnagyobb energia-felhasználók talán a legnagyobb energiapazarlók. Gondoljunk USA motorizációjának fokára, vagy akár a volt Szovjetunió tagországai nem hatékony hasznosítás miatti gázpazarlására, vagy akár közvetlen környezetünk sokszor ésszerűtlen energiafogyasztására stb. A emberiségnek a saját érdekében fel kell készülnie az energiatakarékos technológiákra, ill. életmódra.

A kőolaj és földgáz árának várható alakulása

Talán ez a legnehezebb kérdés, de nem kerülhető ki, hiszen a hosszú távú kőolaj- és földgáztermelés időbeni alakulása ettől nem független. TÓTH Miklós (és FALLER Gusztáv) aki a magyar bányagazdálkodás kiemelkedő képviselője és az egyik megalapítója, az 1990-es évek elején úgy nyilatkozott, hogy csak egy biztos: a kőolaj árának előrejelzése lehetetlen. Ezzel egyet kell érteni. Ennek ellenére kísérletet teszünk a tendencia megbecslésére.

Mivel a világ kőolaj- és földgázkészlete véges, azok és a kitermelő kapacitások dominálóan állami tulajdonban vannak, a nyersanyaglelőhelyekkel rendelkező országok saját érdekükben hosszú távú stratégiában gondolkodnak, mindemellett a szállító és feldolgozó technológiákat és rendszereket monopolhelyzetű multinacionális cégek birtokolják az energia- (birtokló és) szállító cégek fúziója napirenden van, ezért olcsó kőolaj- (és földgáz-) árra nem lehet számítani, annál is inkább, mert a szabadverseny megvalósítása az energiahordozók tekintetében illuzórikus. Mindezekhez hozzájárul még, hogy ez a globális, egész földet átfogó kőolaj- és földgázigényeket biztosító logisztikai rendszer egyensúlya igen kiélezett és bármely váratlan esemény: pl. hideg tél, hurrikán, tájfun, helyi háborúk, terrortámadás stb., mint a napjaink eseményei is igazolják, felborul és az árak növekedését, eredményezi. Mindezekből következik az, hogy a forrásokkal nem rendelkező országok előbb vagy utóbb rákényszerülnek a takarékosságra.

Kétségtelen, hogy a magas ár a helyettesítő energiák kutatását és alkalmazását segíti elő, de a készletek és említett logisztikai rendszerek tulajdonosai e kutatásokban is részt vesznek és így nem biztos, hogy a helyettesítő energiák elterjesztésében pillanatnyilag érdekeltek.

Geo- és energiapolitika a kitermelési lehetőségek figyelembevételével

A politika az érdekek érvényesítésének tudománya és gyakorlata. Az érdekérvényesítés során a konfliktusok elkerülhetetlenek lásd pl. az első, a második világháborút, a hidegháború időszakát (harmadik világháború?) vagy akár a napjainkban zajló globalizáció folyamatát (negyedik világháború?). Mindezekben egy közös vonás van: az energiaforrások birtoklásáért és az energiaszállítási útvonalak ellenőrzéséért folyó küzdelem. Ezt akár „permanens" világháborúnak is nevezhetjük.

Az érdekérvényesítés formái különbözőek: gyarmatosítás, világrészekre vagy akár egész világra kiterjedő fegyveres konfliktus, helyi háborúk, szabotázs, terrorizmus, technológiai erőfölénnyel való visszaélés, vagy akár – többek szerint – a redszert váltó országok esetén, mint rafinált eszköz a „privatizáció" stb.

Mindezeket figyelembe véve az országok kormányai nem mentesülnek a felelősség alól, hogy a társadalom érdekében reális energiapolitikával rendelkezzenek. Ha a fenti okfejtést elfogadjuk, akkor érthető a jelenlegi világpolitikai helyzet és a megoldás lehetősége is körvonalazódik.

A jelenlegi helyzet megértéséhez szükséges a kőolaj és földgáz kitermelésével kapcsolatos rövid történeti áttekintés is, majd ezt követően bemutatjuk egyes országok kőolaj- és földgázkitermeléssel kapcsolatos lehetőségét és stratégiai irányvonalát.

Történeti áttekintés

A természetes szénhidrogének felkutatása és kitermelése, mint szaktudomány egy évszázados múlttal rendelkezik. Ez a tevékenység már megszületésének pillanatában is nemzetközi volt. Ez az integrációs folyamat 1917-ben a Szovjetunió létrejöttével, majd 1945-ben a keleti blokk megszületésével megszakadt. A szakmai fejlődés motorja a nyugati blokk esetén az USA, míg a keleti blokk esetén a Szovjetunió volt. Kétségtelen az, hogy USA technológiai fölényre tett szert és jelentős készleteket kutatott fel, de alapvetően nem a saját területén. A Szovjetunió kedvező geológiai adottságok miatt saját területén tárt fel és állított termelésbe jelentős szénhidrogénmezőket, gyakorlatilag a „nyugati technológiától" függetlenül.

A rendkívül magas technikai színvonalat birtokló USA helyzetét tovább bonyolította az, hogy az ébredező „nemzeti" öntudat miatt a jelentős készletekkel rendelkező államok (OPEC) államosították a kőolaj- és földgázkészleteiket és kitermelő rendszereiket. Kezdeti sikertelenség után az OPEC országai a világpiac szabályzói lettek, amikor is 1973-ban bevetették az energiafegyvert (első olajválság). Mindezekhez hozzá kell tenni, hogy ezek az országok elsajátították a kitermelés „know how"-ját és a „hardware"-hez is hozzájutnak még embargó esetén is, amire számtalan példát láttunk. Mivel OPEC és Oroszország készletei államilag ellenőrzöttek, ami a világ készleteinek zömét (több, mint 2/3-át) jelenti, ezért a kőolaj és földgáz esetén a piac szabályzó szerepe korlátozott. Bizonyosak lehetünk, hogy erről a monopolhelyzetről önként egyetlen ország sem hajlandó lemondani a „szabad" piac kedvéért.

USA

A világ egyetlen szuperhatalma, a szakterület fejlesztésének motorja. Határozott és kiforrott energiapolitikával, amely talán így foglalható össze: olcsó szénhidrogénforrások biztosítása az importforrások allokációjával. Tisztában van a készletellátottságának korlátaival, amely 8–11 év. A világ legnagyobb kőolaj-importálója. Ezért mindent megtesz a gazdaságához szükséges szénhidrogénforrások biztosítására és a világpolitikáját is ennek rendeli alá. Az általa alkalmazott eszközök sokszor nem népszerűek. Közép-Keleten és Dél-Amerikában kiéleződött az amerikaellenesség. A volt Szovjetunió iszlám tagköztársaságaiban a „színes" forradalmak időszakában komoly politikai sikereket ért el, de mostanára, mintha ez megkopna. Ezeket az érdekellentéteket Kína (és India) nagyszerűen kihasználja az energiaéhségének csillapításához szükséges források megszerzésére az egész világon. Kijelenthető, hogy USA nincs könnyű helyzetben a konvencionális kőolaj- és földgázforrások biztosításában.

OPEC

A kőolajat exportáló országok készletellátottsága 80–90 év és meghatározó szerepet játszanak a világ kőolaj- (és földgáz-) igényeinek biztosításában. Úgy vélem, hogy az országaik érdekében hosszú távú stratégiában gondolkodnak: olyan kőolajárat igyekeznek kialakítani a kitermelés szabályozásával, amely hosszú ideig biztosítja az exportbevételeiket, de még nem segítik az új energiahordozók meg-

jelenését. Megtanulták az olaj- (és gáz-) fegyver alkalmazásának fortélyait és nem tűnik úgy, hogy ezt az egységet meg lehessen bontani, annál is inkább, mert Oroszország OPEC külső tagjaként viselkedik.

Oroszország

Egyetlen nagyhatalom, amely „energiafegyverrel" is rendelkezik. Ezzel tisztában van. A kőolaj- és földgázkészletei kőolaj-egyenértékben meghaladják Szaúd-Arábia készleteit. A kőolaj és földgáz szállítása szempontjából, földrajzi tekintetben kedvező helyzetben van, hiszen a fő fogyasztási helyekre, szárazföldön vezetékrendszereken a szénhidrogének eljuttathatóak. Korábban (és jelenleg) nyugat volt a szállítás iránya, és Oroszország rákényszerült a keményvalutájának biztosítása céljából ezekre a felvevő piacokra. Ma már, ill. a közeljövőben déli irányban is megindult a földgáz törökországi szállítása és sor kerül a kínai, sőt távol-keleti (Japán) szállításra, sőt az észak-szibériai gázok cseppfolyósításával az USA is export szempontjából célországgá vált. Ezek a lehetőségek Oroszország export-diverzifikációja tekintetében kiválóak. Az oroszországi „visszaállamosító" energia politika megszilárdította az állami kontrolt a szénhidrogének felett és nem valószínű, hogy a közeljövőben, ebben engedményt tesznek. Az „orosz" energiafegyver kezelője a Gazprom, amely a világ legnagyobb szénhidrogén készleteivel rendelkezik és nyíltan hirdetik „ami jó a Gazprom-nak az jó Oroszországnak is". Oroszország 2006 januárjában mutatta meg a világnak, pontosabban Közép- és Nyugat-Európának a „gázfegyver" bevetésével, hogy világhatalom az energiaellátás területén és erről a nagyhatalmi lehetőségről nem fog lemondani. Az energiaeloszlás geopolitikai sakkjátszmáját mutatja a vezetékháború, amely műszaki ésszerűség tekintetében tragikomikus. Ennek a rövid bemutatása a következő:

– A Balti-tengeren keresztül építendő gázvezeték (Viborg–Oroszország és Greifwald–Németország között) célja az orosz gázt Németországba eljuttatni a volt szovjet tagköztársaságok kikerülése céljából. 2010 körül tervezik termelésbe állítani 30 milliárd m^3/év-es kapacitással. Vannak, akik a vezeték szükségességét is megkérdőjelezik.

– A kazahsztáni, bakui olaj eljuttatása a török földközi-tengeri kikötőbe, Ceyhanba. A vezeték megépítése 5 milliárd USD-be került, kapacitása 160 ezer m^3/nap. Világ legdrágább vezetéke, mivel 3000 m magas hegyeken halad keresztül Oroszország kikerülése miatt. A szállítási feltételekre jellemző, hogy a környezet minimális hőmérséklete télen eléri a –40 °C-ot. A vezeték átmérője több mint 1 m, hossza pedig 1700 km. Falvakat telepítettek ki a nyomvonal miatt és egész hadsereg védi a terroristáktól.

– Orosz gáz térhódítását mutatja – a volt tagköztársaságok kikerülése miatt – a Fekete-tengeren keresztül megépült gáz-vezeték (Blue Stream), amikor is a gázt Törökországba juttatják, és várhatóan eljut Görögországba is. Tervezik az olajszállító vezeték megépítését is hasonló nyomvonalon. Felvethető az a gondolat is, hogy a cél nemcsak e felvevő piacok meghódítása, hanem az óriási közép-keleti gázforrások és a déli volt szovjet tagköztársaságok gázforrásainak blokkolása (Nabucco-vezeték kiváltása) Európa felé.

– Oroszország részéről céltudatos pókerjátszma folytatódik a kelet-szibériai földgázforrásokkal is, amikor is fogyasztóként jelentkezik Kína és Japán is. Oroszország

bizonyára a monopol helyzetéből politikai tőkét igyekszik realizálni, a gazdasági előnyöket nem is említve, kihasználva Kína és Japán energiaéhségét.

– Említeni lehetne a legutóbbi, Fehéroroszország okozta olajellátási problémákat is.

– Ne feledkezzünk meg az orosz–ukrán gázvitáról sem, amikor is a gáz árát az oroszok megduplázták azzal az indokkal, hogy közelíteni kell világpiaci árhoz. A nyugatra szállított gázt (az oroszok szerint), az ukránok rendszerint megcsapolták (megcsapolják), amely éves mennyisége csaknem megegyezik Magyarország éves gázfelhasználásával. Ez igazolja 2006. januári gázkrízis is, amikor is, az ukrán kormány utasítására 10%-kal csapolták meg a nyugat felé szállított (és szerződött) gázmennyiséget. Ez, amint tudjuk Magyarországot is érintette.

Közép- és Nyugat-Európa energiaellátásának biztosításához Oroszország kőolaj- és földgázkészleteinek nagysága és a földrajzi elhelyezkedése miatt Oroszország megkerülhetetlen és ezt tudomásul kell venni.

Kína (és India)

Kína a világ legrégibb birodalma és a mai, egész Földet érintő, csendes (de mégis agresszív) politikája rendkívül céltudatos. Gondoljunk a kínai éttermekre (ez a kínai Mc-Donalds vagy kínai Coca Cola), a világ sok országának textiliparát tönkre tevő kínai dömpingárura, high-tech felvásárlásaira (márkás termékek „másolására"), Unocal megszerzési kísérletére, a kazah szénhidrogénforrások feletti ellenőrzés elnyerésére stb. Kína több, mint 4 milliárd USD-t megvásárolta Petro-Kazahsztánt. Indiával együtt felvásárolni szándékoznak egy szíriai olajmezőt, ill. vállalatot stb. Gyakorlatilag Indiával együtt minden földrészen ott van. A céljai eléréséhez a nyugati értelemben vett gazdaságosság nem érdekli, hiszen az élőmunkája a világon a legolcsóbb. Ennek eredményeként az elmúlt évben 100 milliárd USD aktívumot termelt, azaz egy főre eső aktívum 70 USD, míg ez a szám Magyarországra vetítve 500 USD/fő adósság. A kétszámjegyű nyereség % követelményű szénhidrogéniparhoz képest a kínaiak akár 3–5%-os profittal is megelégszenek, csak hogy a forrásokhoz hozzájussanak.

A Föld lakosságának 1/3-át kitevő Kína és India energiaéhsége csillapíthatatlan. A gazdaságuk növekedése a világon a legnagyobb (8–10%). Ehhez a hazai forrásaik távolról sem elegendőek.

Mesterien kihasználják az Amerika-ellenességet. Minden világrészen ott vannak, ahol kőolaj- és földgáztermelés folyik és a legzavarosabb politikai viszonyok között is jelen vannak beruházóként, munkavállalóként, igyekezve kiszorítani a biztonságra és nagy nyereségre törekedő versenytársakat: lásd Közép-Kelet, Afrika, Dél- Amerika vagy akár a Fekete- és Kaszpi-tenger környezetében elhelyezkedő és jelentős szénhidrogénvagyonnal rendelkező volt szovjet tagköztársaságok. Kína az orosz kelet-szibériai mezőkre is beruházóként, felvásárlóként jelenik meg. Ezzel elérik azt, hogy az energiaszállítás iránya nemcsak nyugati, hanem keleti irányú is lesz. Kijelenthető, hogy kőolaj- és földgázpiac tekintetében Kína (és India) USA (és Közép-, ill. Nyugat-Európa) legnagyobb versenytársa.

Európai Unió

Az Európai Uniónak jelenleg nincs, a tagországoknak van energia politikája. Az Európai Unió közös energia-stratégiájának megalkotása és ennek realizálása az Unió integrációjának próbaköve.

A régi tagországok energiapolitikáját kétféle vonással jellemezhetjük. Az egyik vonás az, hogy a régi tagországok egységesek voltak az új és a közeljövő tagországai energiapiacának, ill. forrásainak megszerzésében, amihez meglehetős rafinált módon a privatizációt, mint eszközt alkalmazták. Vagy nyugat-európai állami vállalatok vagy óriási tőkeerős vállalatok privatizáltak. Ezek az állami segédlettel támogatott monopolhelyzetű társaságok voltak hivatottak arra, hogy hozzájuk képest „törpe magyar monopol vállalatok" monopolhelyzetét felszámolják, kihasználva az időszak zavaros tulajdonviszonyait. Kijelenthető, hogy ehhez a rendszerváltó országok kormányai is asszisztáltak, nem véve észre azt, hogy az energiaiparban óriási a tőkekoncentráció! Napjainkban országhatárokon át zajlik az óriási EU energiaszolgáltató vállalatok fúziója, amely minden bizonnyal az energiaárak további növekedését eredményezi.

Az energiapolitikájuk másik vonása, pedig az, hogy a földrajzi helyzetüktől, saját energiaforrásaik nagyságától függően egyénileg biztosítják az energiaszükségleteik kielégítését. Ezt érdemes áttekinteni országonként, esetünkben a kőolaj és földgáz beszerzése, ill. ellátása vonatkozásában. Míg a latin országok elsősorban az észak-afrikai forrásokra, addig Németország, Anglia, Norvégia, és a Benelux államok az Északi-tenger valamint Oroszország forrásaira támaszkodik. A Balti-tengeren építendő gázvezeték hosszútávon megoldja Németország gázellátási problémáit. Azt is meg kell említeni, hogy Németország és Franciaország (valamint Oroszország) az iraki háború előtt hatalmas értékű szerződéseket kötött Irakkal és jelenleg Iránnal is. Tehát a Közel-Kelet különböző érdekek ütközésének csomópontja.

Az új tagállamok, elsősorban a keleti blokk korábbi energiaellátása Szovjetunióhoz, mint forráshoz kötődött a politikai kapcsolatokkal megerősítve. Erre az időszakra elmondható, hogy az ellátás biztonsága garantált volt, mint egy köldökzsinórra rákötve a felhasználás forrásait. A keleti blokk szétesése után a viszonyok megváltoztak és az érintett országok keresik a megoldás módját.

Vélhetőleg Oroszország 2006. januári energiafegyverének bevetése pozitív folyamatokat indít be az Unió integrációja szempontjából. Ha ez így lesz, akkor ezt meg kell köszönni Oroszországnak. Csak a közös energiaellátási stratégia vezethet célhoz, viszonylag független energiapolitika megvalósításában.

Földrajzilag, az energiaforrások elérése tekintetében az Európai Unió kedvezőbb helyzetben van, mint az Egyesült Államok, tekintettel arra, hogy a „szabad" kőolaj- és földgázforrások nagy része szárazföldi logisztikai rendszerekkel is elérhető. Már üzemelnie kellene a Nabucco-vezetéknek, amely már lehetővé tehetné a közel-keleti gázforrások bekapcsolását. Kijelenthető, hogy energiaellátás szempontjából (is) felértékelődött Törökország helyzete. Ennek ellenére az Unióhoz való csatlakozásának hasznossága sokak szerint még talány. Az Európai Unió közös energia-stratégiájának kialakítása, ill. realizálása több országnak, nagyhatalomnak, ill. az óriás tőkeerős energiavállalatoknak nyilvánvalóan nem érdeke. Ezen érdemes

elgondolkodni és azon is, hogy kinek az érdeke a közel-keleti térségben a feszültség fenntartása az energiaellátás szempontjából.

Magyarország

Az előzőek figyelembevételével lehet csak a magyar energiapolitika irányvonalát kijelölni pontosabban körvonalazni. Azt tudomásul kell vennünk, hogy Magyarország nem energia nagyhatalom. Sem a világ kőolaj- sem pedig földgáztermelését nem befolyásolja, és így az olajárra sincs befolyással. Saját erőből energiaellátását az ország nem tudja megoldani, energiaimport függősége nyilvánvaló (70%). Ez a továbbiakban csak romolhat. Meg kell becsülni amivel rendelkezünk, ezt korrekten fel kell mérni, és csak diverzifikált megoldásokban szabad gondolkodni legyen ez forrásoldal vagy akár felhasznált energiafajta. Az energiapolitikánk mindig ad hoc jellegű volt. Volt vegyes korszak: fa-venyige-rőzse-kukoricaszár-napraforgószár-torzsik-szén korszak, volt kizárólagos szénkorszak, ezt felváltotta az olajkályha majd PB-palack korszaka és végül a vezetékes gáz korszak. Mivel minden korszakváltáskor az előzőt maradéktalanul kidobtuk, nem tartva meg az előző esetleges hasznos elemeit, odáig jutottunk, hogy Magyarország az óriási forrásokkal rendelkező Hollandia mellett a leginkább a gázra, mint energiahordozóra támaszkodik, amely kétségtelenül kényelmes és kulturált, de pl. a lakossági gázellátás rendkívül drága, mivel a kiépített vezetékrendszerek csak a fűtési idényben kihasználtak.

Kritikával kell jellemezni a napjaink energiapolitikáját is, amit tűzoltó jellegűnek kell minősíteni. A politikusok kapkodnak a megoldás keresésében, amikor is – nem ismerve az előzményeket – a szakemberek által több mint egy évtizede javasolt megoldásokat előrángatják a közvélemény megnyugtatása érdekében.

Ilyen, pl. a havária és/vagy csúcs (és biztonsági) gáztároló, amely szükségességének igénye már a klasszikus tárolóink létesítésével egyidőben felmerült. A 2006. februári gázellátási problémák mindenképen szerepet játszottak abban, hogy az Országgyűlés törvényt hozott a „csúcstároló" létesítésére. A Nabucco-vezeték létesítésének szükségessé-géről már másfél évtizede tárgyalnak. Elképzelhető az, hogy ezt a javasolt orosz déli vezeték kiváltja. A cseppfolyósított földgáz adriai kikötőbe való szállítása és elpárologtatása utáni szállítása már egy évtizedes tárgyalási múlttal rendelkezik. Mindezekről még ma is csak beszélünk. Kétségtelen az, hogy az utóbbi két megoldás megvalósítása meghaladja országunk teherbíró képességét, csak a környező, hasonló energiaellátási problémákkal szembekerülő országok bevonásával lehetséges a megoldás.

A mindenkori kormányoknak fel kell vállalni a politikamentes, az ország érdekeit védő energiapolitikát, mert a (multinacionális) óriásvállalatok jobb esetben csak a saját érdekeiket védik, amelyek nem biztos, hogy megegyeznek az ország érdekeivel.

Következtetés

– Az energiaigények, kőolaj- és földgázkészletek felmérése csak közelítően lehetséges.

– A XXI. században a primer energiaforrások biztosításában még mindig jelentős a természetes eredetű szénhidrogének szerepe.

– Míg a XX. századot a szénhidrogének korszakának tekinthetjük, addig a XXI. századot energiaforrások tekintetében átmeneti időszaknak.

– A szénhidrogének biztosítják az áthidalást a jelenlegi és az új energiaforrások között a XXI. században.

– A jelenlegi ismereteink szerint a konvencionális szénhidrogénkészletek termeltetésének maximuma USGS, ill. EIA készlet adatai szerint 1%-os kőolaj és 2%-os földgáztermelés növekedés esetén 2030–2050 években várható.

– Földgázszállításnál egyre nagyobb részarányú az LNG, fogyasztási igények kielégítésénél pedig a föld alatti gáztárolás szerepe.

– Nem konvencionális kőolajvagyonok termeltetése esetén az olajhomokok termeltetése megoldott, olajpalák termeltetési technológiája a kutatás stádiumában van.

– Nem konvencionális földgázvagyonok termeltetése, elsősorban kis áteresztőképességű kőzetek (homokkő, márga, résztelepek gáza) és a jelenlegi földgázár esetén megoldottnak tekinthető, míg a földgázhidrátok gázvagyonának hozzáférhetősége a távoli jövő lehetősége.

– Készletellátottság tekintetében az OPEC és Oroszország – a volt szovjet-köztársaságokat is beleértve – van meghatározó helyzetben.

– A kőolaj és földgáz árának előrejelzése csak nagy bizonytalansággal lehetséges, de kijelenthető az, hogy olcsó kőolaj és földgázra számítani felelőtlenség.

– Fel kell készülni az energiatakarékosságra és az energiatakarékos technológiák alkalmazására.

– A kis (és energiaszegény) országok szerepe a világ energiapolitikájában elhanyagolható, ennek ellenére nem lehet teljesen kiszolgáltatva az óriási nemzetközi vállalatok sokszor önző energiapolitikájának, ezért ki kell dolgozni a Európai Unió energiastratégiáját.

– Az Európai Unió stratégiáját figyelembe véve Magyarországon meg kell teremteni a politikamentes, az ország érdekeit védő, lobbymentes energiapolitikát.

Megjegyzés: 1bbl=0, 159m^3
1 cuft=0,02832 m^3 gáz térfogat olajegyenértékké való átszámítása: 1bbl olaj=6000 cuft gáz.

Felhasznált irodalom – References

BÁRDOSSY Gy. & LELKESNÉ FELVÁRI Gy. 2006: Gondolatok és kételyek a földünk szénhidrogén készleteivel kapcsolatosan. – *Magyar Tudomány* **2006/1**, 62–71.
PÁPAY J. 2003: Development of Petroleum Reservoirs. – Akadémiai Kiadó, 940 p.
VAJDA Gy. 2001: Energiapolitika. – MTA, Budapest, 395 p.
VAJDA Gy. 2004: Energiaellátás ma és holnap. – MTA, Budapest, 385 p.
VAJDA Gy. 2005: Energiaellátás és globalizáció. – *Energiagazdálkodás* **46**/2, 3–8.
Internetes anyagok: DOE; EIA; IEA; ASPO.

Kézirat beérkezett: 2006. 03. 13.

Földtani Közlöny 137/1, 63–74. (2007) Budapest

Geokémiai háttérértékek Magyarország hegyvidéki területein

Geochemical background concentrations in the Transdanubian and Northern Hungarian Ranges

Fügedi Ubul[1] – Horváth István[1] – Ódor László[1]

(4 ábra, 4 táblázat)

Tárgyszavak: geokémia, térképezés, geokémiai módszerek, háttérérték, mintázás, geokémiaia provincia, szennyezés, Magyarország

Keywords: geochemistry, mapping, geochemical methods, background level, sampling, geochemical province, pollution, Hungary

Abstract

In Hungary the analytical methods valid for constructive detection of background concentrations of the most important toxic elements have been widely applied since the beginning of the 90s. At that time an ideal method was found for collecting the results of different investigations in order to detect the probable concentrations with respect to the geological-climatical relations of the Transdanubian and Northern Hungarian Ranges – from sample planning to the evaluation of results. The investigations were completed in an integrated, three-stage system – FOREGS: Geochemical Atlas of Europe, 1 : 5 000 000; MÁFI: Geochemical Atlas of Hungary 1 : 500 000; Geochemical Atlas of the Transdanubian and Northern Hungarian Range s 1 : 50 000.

With this method it was possible to the following: contour the regional pollutions formed under the "historical" mining areas; separate the geochemical provinces of Hungary; find some new gold deposits; and determine the geochemical background concentration ranges of the Transdanubian and Northern Hungarian Ranges. It was confirmed that the stream sediment samples can be replaced by sinkhole samples on the karst plateaus, where no recent alluvial deposits were found.

Összefoglalás

Magyarországon az 1990-es évek elején váltak tömegessé a fontosabb toxikus elemek háttér-koncentrációinak meghatározását lehetővé tevő analitikai módszerek. Erre az időre a szerteágazó módszertani vizsgálatok eredményeit összesítve tisztáztuk, hogy a Magyar-középhegység földtani-éghajlati viszonyai mellett mi a tájegységi várható értékek meghatározásának leghatékonyabb módszeregyüttese – a mintavétel tervezésétől az adatok értékeléséig. Vizsgálatainkat háromlépcsős, integrált rendszerben végeztük – FOREGS: Európa geokémiai térképe, 1 : 5 000 000; MÁFI: Magyarország geokémiai atlasza 1 : 500 000, a középhegységi területek geokémiai atlasza, 1 : 50 000.

Ezzel a módszerrel sikeresen lehatároltuk a hazánk területén (a régi bányavidékek alatt) kialakult regionális környezetszennyezéseket, elkülönítettük Magyarország geokémiai nagytájait, találtunk néhány új aranylelőhelyet, meghatároztuk a Magyar-középhegységben alkalmazható háttérérték tartományokat és azt, hogy hol kell ezektől eltérve egyedi háttérértékeket megszabni. Bizonyítottuk, hogy a karsztfennsíkokon, ahol aktív vízfolyás hiányában recens allúvium sincs, a hordalékminták töbörmintákkal pótolhatók.

[1] Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

Geokémiai térképezés Magyarországon

Hazánkban az elmúlt évezred legvégéig nem készült a középhegységi tájakat lefedő, egységes szemléletű geokémiai térkép. A geokémiai kutatás fő célja az érckutatás, módszere a metallometria (hálózatos talajmintavétel) volt. A patakhordalékot néhány kivételtől (ELSCHOLTZ & NÉMETH 1969, VETŐ 1972, FÜGEDI 1986) eltekintve nem mintázták. A félmennyiségi optikai emissziós színképelemzés nem tette lehetővé az alapvető színes- és félfémek háttérhez közeli koncentrációinak megbízható meghatározását. A felvételek zöme egy-egy indikáció megismerését célozta, a szórványos, tájegységi térképek összevetését pedig már az alkalmazott módszerek különbözősége is lehetetlenné tette – így például a Mátrát (GEDEON 1964) a felszíni vízfolyások összes nehézfém-tartalmának vizsgálatával, a Bükköt és az Aggtelek–Rudabányai-hegységet (BÖJTÖSNÉ VARRÓK 1977) és a Velencei-hegység északkeleti részét metallometriával, a mecseki triászt (FÜGEDI & CSALAGOVITS 1977) litogeokémiai mintavétellel jellemezték. Az egységes módszer hiányának eredményeként a metallometria hálózata a Bükkben és az Aggtelek– Rudabányai-hegységben izometrikus, más tájegységeken anizometrikus volt, és utóbbi mértéke a Velencei-hegységben alkalmazott 2:1-től a Közép- és Nyugati-Mátra érckutató programjában (NAGY 1988) használt 10:1-ig változott. A mintákat csaknem mindig a talaj A szintjéből gyűjtötték, de épp a mátrai minták háromnegyedét a C szintből, kézifúróval. A geokémiai adatokat többnyire az egyéb vizsgálatok eredményeitől elkülönítve kezelték, így például a Mátrában a geokémiai szelvények csapásiránya mintegy 1,5 fokkal eltért a geoelektromos szondázásétól.

Az első olyan, egész tájegységet lefedő geokémiai felvételt, amelyhez már részben kvantitatív eljárások szolgáltatták az adatokat, a Zempléni-hegységben végeztük el (HARTIKAINEN et al. 1992, 1993). E munka fő célja (HORVÁTH et al. 1993) ekkor is az érckutatás volt. Füzérkajatánál, valamint Mád, Király-hegyen sikerült is ipari értékű nemesfém-előfordulásokra bukkannunk, de emellett már megbízhatóan becsültük az ércesedést kísérő elemek háttérérték tartományait, illetve várható értékeit is.

A mintázott közeg

A Zempléni-hegységben párhuzamosan vizsgáltunk négy közeget (talajt, kőzettörmeléket, szérelési maradékot, a hordalék finom frakcióját). A leghatékonyabbnak a finom frakció bizonyult, ugyanis a kissé informatívabb szérminták gyűjtése kevésbé szapora, előkészítésük és feldolgozásuk jóval költségesebb és hosszadalmasabb. Ezért a Magyar-középhegység többi tájegységében a patakhordalék finom frakcióját mintáztuk. Az eljárást kipróbáltuk száraz és nedves szitálással is (HORVÁTH et al. 1994). A kétféle módon gyűjtött minták eredményei között nem találtunk szignifikáns különbséget, ezért a jóval gyorsabb száraz szitálás mellett döntöttünk.

FÜGEDI (1986) rámutatott, hogy a mederüledékek finom frakciójában három, a nehézfémeket dúsító fázist kell figyelembe vennünk: a nehézásványokat, az agyagásványokat és a szerves anyagot. A két utóbbiban az oldatosan migráló fémek dúsulnak fel. Mivel a víz mindkettőt zömmel lebegtetve szállítja, ezek a lassabb folyású, szétterülő szakaszokon, leginkább a part közelében ülepszenek ki (illetve a

szervesanyag jelentős része eleve ott képződik). A nehézásványokat a patak zömmel vonszolva-görgetve halmozza át, és a sodorvonal tájékán, a nagyobb szállítási energiájú szakaszokon halmozza fel. Mivel ilyenfajta hordalékot évszaktól és időjárástól függetlenül, ár- és kisvíz idején is találunk a mederben, mintáinkat lehetőleg a durvább szemű hordalékból gyűjtöttük.

A kétféle dúsító folyamat közül amúgy is a törmelékes migráció jelentősebb. PEH & MIKO (2003) igazolta, hogy a középhegységekben a hordalék összetételét a lineáris erózió (a patakvölgyek bevágódása) a területinél (az oldatos ionmozgásnál) erősebben befolyásolja. Ezzel összhangban zempléni módszertani vizsgálataink (ÓDOR et al. 1998) kimutatták, hogy a völgyekben harántolt anomális képződmények hatása az „átfolyó" cellákban hosszan követhető. Ezért, amikor a Magyar-középhegység (valamint az ugyancsak mintázott Mecsek és Villányi-hegység) környékét durván 4 km^2-es vízgyűjtő területekre daraboltuk, külön jelöltük az ún. „elemi" vízgyűjtőket – amelyek teljes hordalékanyaga a cella területéről származik – és az „átfolyókat", amelyekbe a víz és vele a hordalék egy része magasabb helyzetű cellákból érkezik. A vízgyűjtőt jellemző mintát annak kifolyási pontján gyűjtöttük.

A hegységek peremein, ahol gyakorta nem tudtunk elég nagy cellákat kijelölni, külön mintáztuk a kisebb vízgyűjtőket, és a szomszédos részmintákat szitálás után területarányosan összevontuk, majd homogenizáltuk.

A mészkőfennsíkokon, ahol az előrehaladott karsztosodás a felszíni vízfolyásokat gyakorlatilag megszüntette, a cellákat az egykori patakok nyomvonalát követő töbörsorok alapján jelöltük ki, és az iméntihez hasonlóan összevont minták egyes részmintáit a töbörsorok legalsó töbreinek fenekéről gyűjtöttük.

Kémiai elemzések

A véglegesített analitikai csomagban nagy nyomású bombában végzett, királyvizes feltárásból, ICP-AES módszerrel határozták meg a Mo, Cr, Zn, Pb, Co, Cd, Ni, Ba, Cu, Sr és Li elemeket, ICP hidridfejlesztéses technikával az As-t és Sb-t, atomabszorpciós lángtechnikával a Mn-t és K-ot, elektrotermikus atomabszorpciós módszerrel az Au-t. A Hg koncentrációját közvetlenül a pormintákból, AMA 254 típusú atomabszorpciós analizátorral mérték – később ezzel a műszerrel határozták meg minden, a FOREGS (Forum of European Geological Surveys) Európa Geokémiai Atlasza programjában gyűjtött szilárd minta Hg-tartalmát is. A Börzsöny és a Dunazug-hegység mintáinak ismételt analízise kimutatta, hogy a polietilén palackokból a meleg padláson néhány év alatt a higany jó része elillan.

Minden sorozat mintáinak 10%-ából (a mintaszámok átkódolása után) ellenőrző vizsgálatot végeztettünk. Általános tapasztalatunk, hogy a labor jól dolgozott: a relatív hiba mindvégig a megengedhető határokon belül maradt. Két tájegység (a Mátra és a Nyugati-Mecsek) mintáit külső laboratóriumban – SGS Qualitest (Chenove, Franciaország), illetve OMAC (Grøningen) is megvizsgálták. A vizsgálatok között az eltérő feltárás dacára minden esetben több mint kielégítő regressziót találtunk. A külső elemzéseket felhasználtuk adataink pontosítására.

Az analitikai csomag véglegesítése után részben újravizsgáltattuk a Dunazug-hegység és a Börzsöny mintaanyagát, a Zempléni-hegység adatszerkezete azonban félmennyiségi maradt. További probléma, hogy a savas feltárás egyes elemeket nem

old ki jellemző ásványaikból (a báriumot a baritból, a krómot a spinellfélékből stb.). Az ilyen elemekből OES elemzésekkel, tehát porból lényegesen nagyobb koncentrációkat határoztak meg, mint az oldatos módszerekkel.

Magyarország integrált geokémiai térképsorozatai

A geokémiai térképezés talán legfontosabb szabálya, hogy a minta típusát a felvétel léptéke szerint kell megválasztani. Ekképpen a FOREGS Európa Geokémiai Atlasza programjában a nagyobb (1000–6000 km^2-es) vízgyűjtőket ártéri üledékkel („overbank sediment"), az azokon belül kijelölt közepeseket (< 100 km^2) a hordalék finom frakciójával („stream sediment") jellemezzük, az ezeken belüli változékonyságot pedig talajmintákkal érzékeltetjük. Itt kell felhívnunk a figyelmet arra, hogy nincs univerzális, mindenhonnan gyűjthető reprezentatív mintatípus, ezért a kis (és tájegységtől függően a közepes) léptékű geokémiai térképek szinte sosem jellemezhetik a teljes felvételi területet. A lineáris erózió miatt nem gyűjthetünk reprezentatív hordalékmintát a nagyobb folyók közép- és alsó szakaszairól, nem mintázhatunk patakhordalékot ott, ahol a szemcséket gyakorlatilag csak a szél mozgatja stb. Ezért amikor összekapcsoljuk az egyes vízgyűjtőket, a térképen rendszerint maradnak értékelhetetlen területrészek, „lukak".

A FOREGS rendszerét több nemzeti, illetve szubkontinentális atlasz tapasztalatait összesítve dolgozták ki. Magyarország geokémiai atlaszának (Ódor et al. 1998) tervezésekor főképp a lengyel tapasztalatokat (Lis & Pasieczna 1995) vettük figyelembe. Az ártéri üledékeket két mélységintervallumban mintáztuk (Ódor et al. 1997a). A Magyar-középhegység részletesebb geokémiai térképsorozatát ugyancsak a FOREGS-szel analóg módon, a mederüledékek finom frakciója alapján állítottuk össze. A FOREGS (kb. 1:5 000 000), Magyarország geokémiai atlasza (1:500 000) és a középhegységi térképsor (1:50 000) tehát lehetővé teszi a kontinentális, regionális és tájegységi hátterek meghatározását, elkülöníthetővé és értelmezhetővé teszi a konkrét (kontinentális, regionális és helyi) anomáliákat.

Itt kell felhívnunk a figyelmet arra, hogy ez a három fokozatú rendszer csak hazánk középhegységi területeire érvényes: a felvételből nemcsak a síkvidékek maradtak ki, hanem (anyagi okokból) a dombvidékek nagyobb része (Cserehát, Velencei-hegység és Somogy–Tolnai-dombság), valamint az Alpokalja is.

A háttér jellemzése

A magyar környezetvédelmi jogban (10/2000) szereplő képtelenségek (Fügedi 2004) dacára a háttér sosem jellemezhető egyetlen, várható érték típusú mennyiséggel: a geokémiailag homogénnek tekintett csoportokban legalább a „szokásosnak", illetve „normálisnak" tekinthető értéktartományt meg kell adni. Ehhez egyrészt le kell válogatni az anomáliákat, másrészt tisztázni kell a maradék heterogenitását.

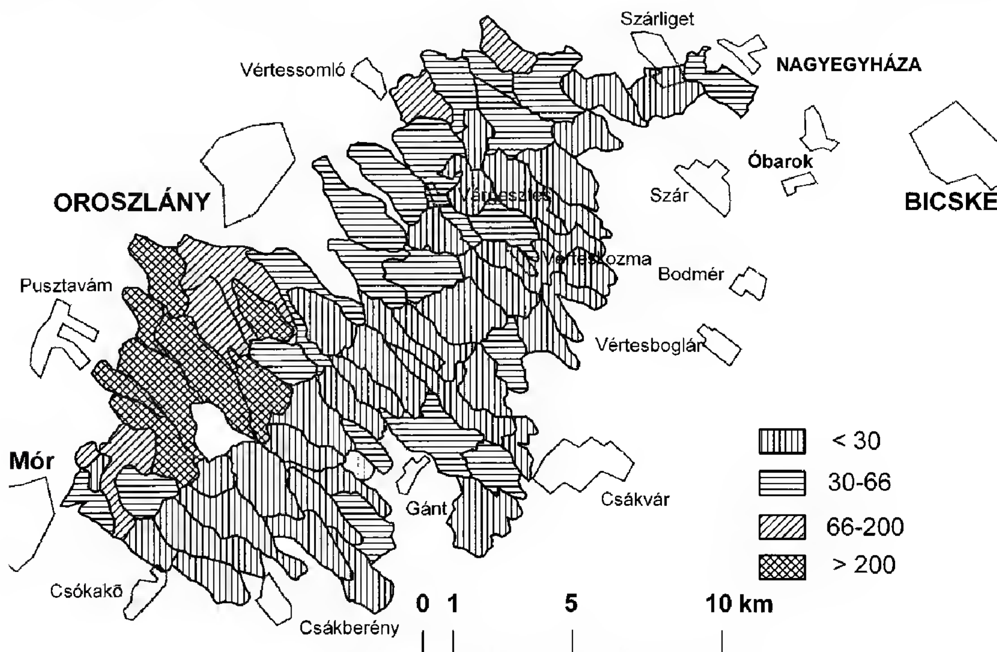
A felvétel kettős (környezetföldtani és érckutató) céljából adódóan különös gondot fordítottunk a természetes eredetű (érces) anomáliák leválogatására (Ódor et al. 2000). Észak-Magyarország ismert érces tájegységeire meghatároztuk az ano-

máliák perspektivitását mutató, ún. additív indexeket (Ódor et al. 1997b). A Mecsekben, a patacsi mélyút és Mánfa között kimutatott anomáliát tovább kívánjuk kutatni; egyebütt érdemleges új indikációt nem találtunk.

A heterogenitás értékelését jelentősen megnehezítette, hogy hazánkban a szerkezeti vonalak döntő többsége diszjunktív tektonikai elem, így a vízgyűjtő területek határai szinte mindig függetlenek az alapvetően eltérő kemizmusú földtani képződmények határvonalaitól. A földtani változékonyság egyébként is túl sűrű ehhez a léptékhez: egy-egy cellában nem ritkán 4–5 formáció kőzeteit is megtalálhatjuk. Azon ritka esetekben, amikor egy vízválasztó egyben földtani határ is, az eltérő földtani hátterű vízgyűjtőkről származó hordalék összetétele szignifikánsan különbözik. Ilyen vízválasztót láthatunk például Vértes hegységben, amelynek gerincétől ÉNy-ra, a felső-triász dolomitban jóval több a Sr, mint a hegység DK-i oldalán, a Sávolyi Mészkő Formáció kőzeteiben (*1. ábra*).

A fentebb sorolt okok folytán felvételünk az efféle, formációszintű heterogenitások kimutatására általában nem volt alkalmas. A mintázott közeg heterogenitása azonban szükségessé tette annak tisztázását, hogy a töbörminták elemtartalmai szignifikánsan különböznek-e a mederüledékből várható értékektől. Ezért azon tájegységekben (É-Borsod, Bükk), ahonnan ehhez elegendő töbörmintát gyűjtöttünk, összehasonlítottuk ezek elemtartalmait a hegyek lábánál gyűjtött hordalékokéval (*1. táblázat*).

A legtöbb földtani közegben a gyakorisági görbék többségének lefutása erősen eltér a normál eloszlásétól. Jól példázza ezt, hogy a háttértartomány fölső határa gyakorta több a középérték kétszeresénél. Az aszimmetria mértéke tág határok



1. ábra. Sr (g/t) a Vértes-hegység hordalékmintáinak finom frakciójában

Fig. 1 Sr in the stream sediments of Vértes Mts

1. *táblázat.* Hordalék- és töbörminták háttér értéktartománya (g/t)

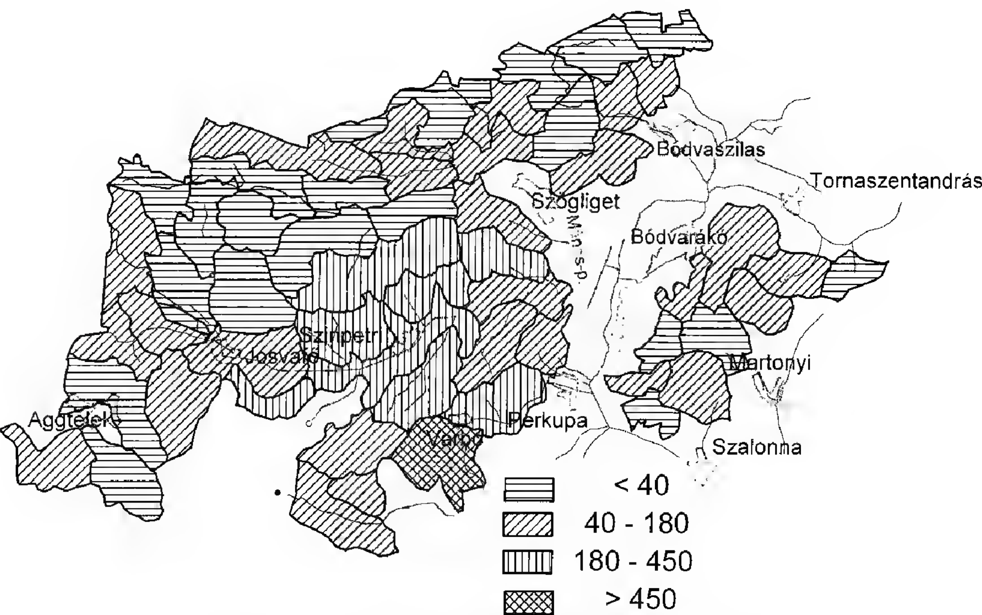
Table 1 Geochemical backgrounds (g/t) of the stream and sinkhole sediments in the Aggtelek and Bükk Mts

	Aggtelek–Rudabányai-, Szendrői-hegység				Bükk			
	hordalék	N = 68	töbör	N = 13	hordalék	N = 51	töbör	N = 7
elem	medián*	háttér max.	medián*	háttér max.	medián	háttér max.	medián*	háttér max.
Ag	**< 0,2**	> 0,7	**< 0,2**	0,2	**< 0,2**	0,5	**< 0,2**	< 0,2
As	**8,6**	20	**8,7**	> 12	**10,4**	25	**8**	> 12
Au	**< 0,002**	> 0,004	**< 0,002**	> 0,007	**< 0,002**	0,01	**< 0,002**	< 0,002
Ba	**126**	> 320	**126**	> 240	**108**	> 250	**107**	> 150
Cd	**< 0,5**	> 0,8	**< 0,5**	> 0,5	**< 0,5**	< 0,5	**< 0,5**	< 0,5
Co	**10**	> 23	**10,7**	> 19	**10,2**	25	**9,2**	> 11
Cr	**22**	>54	**30,5**	> 66	**21**	40	**29**	> 31
Cu	**9**	50	**7,9**	> 17	**12**	50	**7**	> 10
Hg	**0,06**	0,5	**0,075**	> 0,11	**0,09**	> 0,22	**0,12**	> 0,15
Li	**15**	> 33	**16,6**	> 34	**11**	30	**12**	> 15
Mn	770	2500	**757**	> 1270	**1103**	5000	**856**	> 1300
Ni	**21**	> 45	**24**	>43	**23**	> 64	**21**	> 26
Pb	**21**	> 80	**30**	> 42	**22,5**	> 45	**23**	> 31
Sb	**0,6**	2,5	**0,75**	> 1	**0,6**	2	**0,65**	> 0,8
Sr	**54**	> 400	**30**	>82	**39**	> 260	**26**	> 32
Zn	**62**	200	**84**	> 120	**76**	> 170	**82**	> 100

* - Hodges-Lehmann-féle medián – *Hodges-Lehmann estimation*

< 0,2 - a kimutatási határ alatt – *below detection limit*

> 12 - minden, észlelt érték háttér jellegű – *all detected values are background type*



2. *ábra.* Sr (g/t) az Észak-Borsodi karszt hordalékmintáinak finom frakciójában

Fig. 2 Sr in the stream sediments of Aggtelek Mts

2. *A táblázat.* Szilikátos és karbonátos vízgyűjtőjű minták háttérérték tartománya (g/t) az Aggtelek–Rudabányai, Szendrői-hegységben és a Bükk hegységben

Table 2A Geochemical backgrounds (g/t) of the silicate and carbonate rock covered catchment areas in the Aggtelek and Bükk Mts

	Aggtelek–Rudabányai-, Szendrői-hegység				Bükk			
	szilikátos, N = 17		karbonátos, N = 81		szilikátos, N = 79		karbonátos, N = 58	
elem	medián*	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.
Ag	**< 0,2**	< 0,2	**< 0,2**	> 0,7	**< 0,2**	0,5	**< 0,2**	0,5
As	**12**	20	**8,6**	20	**8,0**	30	**8,6**	25
Au	**< 0,002**	> 0,004	**< 0,002**	> 0,007	**< 0,002**	> 0,022	**< 0,002**	0,01
Ba	**173**	> 290	**126**	> 320	**106**	350	**104**	> 250
Cd	**< 0,5**	< 0,5	**< 0,5**	> 0,8	**< 0,5**	1	**< 0,5**	< 0,5
Co	**10**	> 15	**10**	>23	**13**	> 27	**10**	25
Cr	**23**	> 35	**23**	> 66	**22**	40	**22**	40
Cu	**8**	> 26	**8**	50	**13**	50	**10**	50
Hg	**0,1**	> 0,26	**0,07**	0,5	**0,08**	0,5	**0,1**	> 0,22
Li	**17**	> 32	**15**	> 34	**13**	> 45	**11**	30
Mn	**892**	2500	**760**	2500	**1300**	7000	**944**	5000
Ni	**23**	> 42	**22**	> 45	**28**	> 60	**21**	> 64
Pb	**20**	> 41	**24**	80?	**20**	> 41	**23**	> 45
Sb	**0,9**	2	**0,6**	2,5	**0,5**	2	**0,6**	2
Sr	**47**	> 280	**49**	> 400	**48**	200	**36**	> 260
Zn	**64**	> 120	**66**	200	**69**	> 170	**74**	> 170

között változik; ennek okaival e dolgozatban nem foglalkozunk. Eloszlásaink nagy többségének nem normális jellege okán a várható érték becsléseként a Hodges-Lehmann-féle mediánt adjuk meg. Háttérjellegűnek mindenütt a kiugró értékek és az anomáliák leválogatása után megmaradt adatokat tekintettük. A háttértartomány alsó küszöbét nem közöljük, mert kimutatási határaink ennek meghatározását többnyire nem tették lehetővé.

2. *B) táblázat.* Szilikátos és karbonátos vízgyűjtőjű minták háttérérték tartománya (g/t) a Mecsek hegységben és a Villányi-hegységben

Table 2B Geochemical backgrounds (g/t) of the silicate and carbonate rock covered catchment areas in the Mecsek and Villány Mts.

elem	medián	háttér max.	medián	háttér max.
Ag	**< 0,3**	< 0,3	**< 0,3**	< 0,3
As	**5,3**	20	**6,6**	20
Au	**< 0,002**	0,03	**< 0,002**	> 0,007
Ba	**83**	250	**86**	250
Cd	**< 1**	> 1,2	**< 1**	> 1,2
Co	**8,2**	> 20	**8**	> 17
Cr	**19**	> 33	**21**	> 33
Cu	**5,8**	> 31	**7,7**	> 24
Hg	**0,02**	> 0,07	**0,035**	> 0,1
Li	**10**	20	**11**	> 17
Mn	**640**	3000	**590**	2500
Ni	**19**	> 40	**22**	> 45
Pb	**6**	> 34	**8,5**	> 24
Sb	**0,38**	1,5	**0,5**	1,5
Sr	**47**	> 240	**40**	> 145
Zn	**45**	> 141	**50**	150

A kétféle mintatípusban várható értékek között szignifikáns különbséget csak a stronciumnál fedezhetünk fel (2. *ábra*), ezt ugyanis a karsztfennsíkokon beszivárgó víz a Ca-mal együtt kioldja és leviszi a karsztvízbe (a Sr^{++}-ionokat az agyagásványok nem kötik meg). A töböragyagban viszonylag kevés Sr marad. A hegy lábánál kilépő forrásokból kiváló recens mésztufában a stroncium helyettesíti a kalciumot, így ezekben a hordalékokban viszonylag sok a Sr. Elképzelhető, hogy ezzel némileg ellentétes a króm viselkedése, mert az a terra rossa típusú töbörkitöltésekben izomorf helyettesítéssel

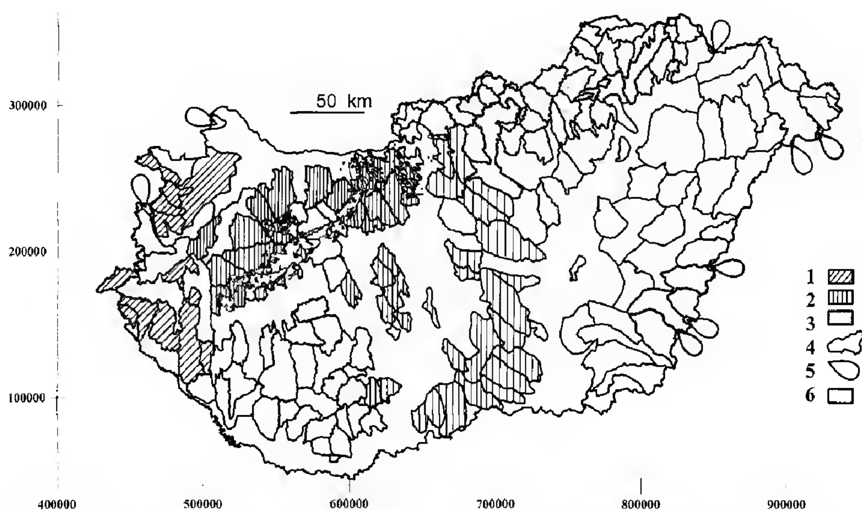
beépülhet a Fe^{3+} helyébe. Hasonló folyamatokat ír le ALEMAYEHU (2006) Addisz-Abeba környékéről, nálunk azonban ennek bizonyítására a mintaszám nem elegendő. A többi, vizsgált elem várható értéke a kétféle mintában gyakorlatilag azonos; mivel töbörmintánk kevés van, értékeink a háttér felső határát többnyire meg se közelítik.

Korábban (ÓDOR et al. 2000) feltételezte, hogy a kétféle mintatípusból összevont karbonátos háttér lényegileg különbözik a szilikátostól. Ha azonban összehasonlítjuk az egy-egy tájegységre külön-külön meghatározott, kétféle hátteret (2. *táblázat*), rá kell ébrednünk, hogy gyakorlatilag azonosak. Ennek okai között két, fontosabb tényezőt kell számításba vennünk:

1. a mállás eredményeként feloldott karbonátásványok tömegének elsöprő többsége oldatban marad, és nem kerül a hordalékba;

2. középhegységi területeink legnagyobb részén a szálban álló kőzeteken vékony, laza üledéktakaró (lösz, riolittufa) foszlányai települnek, ezért a talaj és a hordalék tetemes része ezek mállásának, lepusztulásának terméke.

Hosszú ideje ismert, hogy Magyarország középső részén a talajok „meszesek", illetve „dolomitosak": jóval több bennük a karbonátásvány, mint az ország keleti, illetve nyugati részén. Magyarország geokémiai atlaszát (ÓDOR et al. 1998) összeállítva megállapítottuk, hogy ezekben a talajokban (3. *ábra*) az egyebütt szokásosnál lényegesen több a Ca, Mg, Sr (Ba) és az anionok közül pedig értelemszerűen a



3. *ábra*. Magyarország geokémiai nagytájai és a porló triász kőzetek elterjedése (FÜGEDI et al. 2005 nyomán; javított változat) 1 – 1. nagytáj: nincs jellemző elemcsoport; 2 – 2. nagytáj: Co, Cr, Ni; 3 – 3. nagytáj: Ca, Mg, Sr (SO_4); 4 – 4. nagytáj: Ag, As, Au, Cu, Pb, Zn; 5. vízgyűjtő terület határa; 6. országhatáron túli lehordási terület; 7. a felső-triász dolomit F., diploporás dolomit és Dachsteini Mészkő elterjedése

Fig. 3 Geochemical provinces of Hungary with the spreading areas of flouring Triassic carbonates (after FÜGEDI et al. 2005) 1 – 1 province (normal), 2 – 2 province (Co, Cr, Ni), 3 – 3 province [Ca, Mg, Sr (SO_4)], 4 – 4 province (Ag, As, Au, Cu, Pb, Zn), 5 margin of catchment area, 6 erosional surface near the frontier, 7 spreading area of the Upper Triassic carbonates

3. *táblázat.* Karbonátos háttér (g/t) a Dunántúli-középhegységben
Table 3 Carbonate backgrounds (g/t) in the Transdanubian Range

	Pilis, Budai-hg.,* N = 50		Gerecse, N = 63		Vértes, N = 74		É-i Bakony, N = 192		D-i Bakony, N = 120	
elem	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.
Ag	0,65	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
As	7,4	20	4,71	15	4,7	10	4,9	15	4,5	> 12
Au	<0,002	0,01	< 0,002	0,01	<0,002	0,015	<0,002	0,035	<0,002	0,03
Ba	78	200	56	200	58	> 106	61	> 230	62	200
Cd	<1	1,5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,5	< 1	< 1
Co	10,5	> 17	6,6	20	5,7	> 9	6,6	> 14	6,4	20
Cr	19	60	16	40	16	> 32	17	60	17	> 34
Cu	9	25	5,6	> 14	4,4	> 12	5,0	25	6,2	25
Hg	0,05	0,3	0,03	> 0,11	0,05	0,27	0,03	0,3	0,03	0,3
Li	20	> 32	6,8	> 19	7,4	> 20	7,9	> 24	8,6	> 26
Mn	460	2000	423	2000	414	2000	424	2000	365	2500
Ni	24	50	17	50	14	> 27	15	50	16	> 45
Pb	12,5	40	7	> 18	11	> 37	< 5	40	6,5	40
Sb	< 0,2	2	0,41	2	0,49	2	0,35	1,5	0,36	1,5
Sr	72	>202	52	> 180	27	450	50	> 300	42	> 400
Zn	56	200	41	> 90	45	> 80	41	200	41	200

* – tájékoztató jellegű értékek – estimated values

4. *táblázat. Szilikátos háttér (g/t) a Magyar-középhegység vulkáni-üledékes kőzetein*
Table 4 Silicate backgrounds (g/t) in the Transdanubian és North Hungarian Range

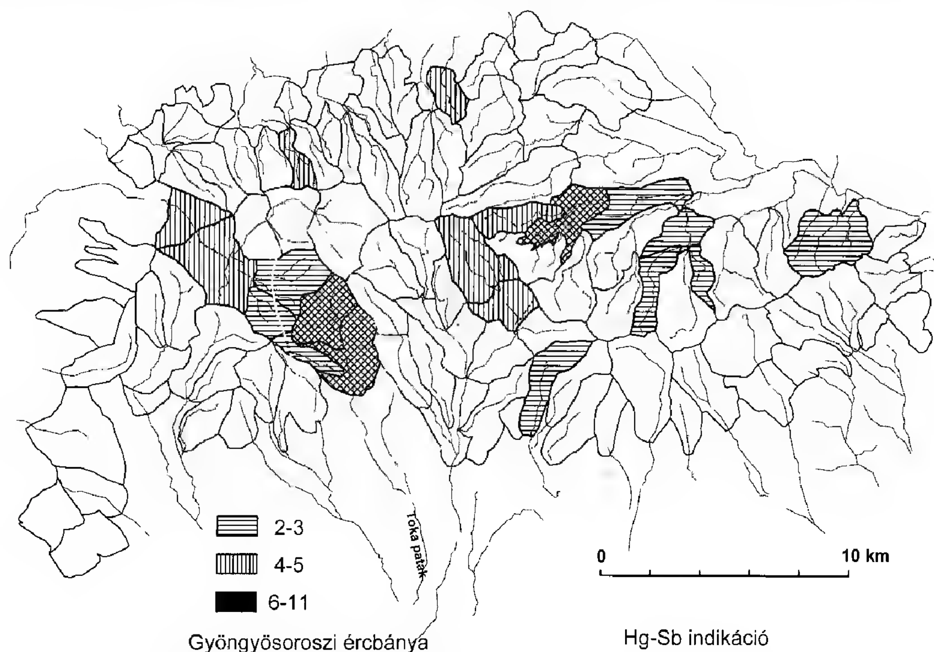
	Bakony, N = 17		Mátra, N = 97*		Heves-Borsodi dombság, N=129**		Cserhát[1], N = 167		Börzsöny[2], N = 157	
elem	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.	medián	háttér max.
Ag	< 0,3	< 0,3	< 0,2	> 0,4	< 0,2	> 1,2	< 0,2	> 0,6	0,4	1,6
As	5,0	> 8	6,35	50	5,4	25	4,4	20	2,8	15
Au	<0,002	> 0,01	<0,002	0,015	<0,002	0,015	<0,002	0,01	<0,002	0,015
Ba	74	>140	127	300	96	> 260	86	> 230	88	300
Cd	< 1	< 1	< 1	3	< 1	1,5	< 1	> 1,3	< 1	1,5
Co	6,0	> 10	12	30	9	> 19	8	> 22	13	> 29
Cr	17	> 30	11	> 20	17	40	18	> 36	15	> 73
Cu	7,1	30	14,4	50	3,7	30	6	40	7	50
Hg	0,035	> 0,1	0,14	1,0	0,04	0,4	0,03	0,5	0,01	0,09
Li	8,6	15	9	30	7	> 23	8	> 21	16	> 44
Mn	394	>1050	990	5000	920	6000	690	>5900	590	>3200
Ni	16	> 30	11	30	15	> 36	18	> 43	17	60
Pb	4,0	> 15	19	70	10	> 38	< 5	40	9	50
Sb	0,55	> 1,2	0,7	7	0,3	2	0,25	> 0,8	< 0,2	> 1,2
Sr	71	200	48	> 150	47	250	52	> 180	120	> 240
Zn	42	> 80	60	200	57	200	51	200	45	200

[1] – valamint Karancs és Medves – *with Karancs and Medves*
* – (As, Cu, Pb, Zn: N = 136)
[2] – és Visegrádi-hg., tájékoztató adat – *with Visegrád Mts., approximately*
** – (As, Cu, Pb, Zn: N = 139)
* A börzsönyi adatok becsült értékek – *The data of Börzsöny estimated value*

karbonát (szulfát, foszfát). Ahogy ezek felhalmozódnak, a felszínközeli üledékekből kiszorítanak minden más iont, és a talajok egyre inkább tápelemhiányossá válnak.

MOLNÁR (1980) megállapította, hogy a Duna–Tisza közén nem csak a homokban, de a löszben is sok (nem ritkán 20–30%) a karbonátásvány. KUTI et al. (2003) egyértelművé tette, hogy a Duna–Tisza közi hátságon a mészakkumulációhoz szükséges kalcium és a magnézium törmelékes mész- és dolomitszemcsékből oldódik ki. Mind a kalcit, mind a dolomit kristályos; szemcséik a felszíni viszonyok között korrodálódnak (KUTI et al. 1999). A Tiszántúlon, ahol nem találunk törmelékes karbonátszemcséket, a szikesedést nem kíséri mészakkumuláció (KUTI et al. 2002). FÜGEDI et al. (2005) szerint a kalcit- és dolomitkristályokat a Dunántúli-középhegységben általánosan elterjedt, porló karbonátkőzetekből fújta ki a szél a jégkorszakban, a 3. geokémiai nagytáj tehát az a terület, ahová a szél a száraz, hideg éghajlaton ezt a port elhordta. Ezek után egyáltalán nem meglepő, hogy bár a formációszintű különbségeket a keveredés eltünteti, az egyes tájegységi hátterek jelentősen különböznek. A tájegységi karbonátos háttereket (3. *táblázat*) áttekintve jól látszik, hogy a Dunántúli-középhegységben gyakorlatilag minden elem koncentrációja kisebb, mint akár Észak- akár Dél-Magyarországon, ahol a fiatal üledékekbe nem keveredett tetemes menynyiségű dolomit- és kalcitpor.

A fentebb ismertetett okok folytán a Bakony és a Balaton-felvidék szilikátos lepusztulási területein a háttér gyakorlatilag megegyezik a környező karbonátos vízgyűjtőkről meghatározottal, tehát lényegesen kisebb, mint az Északi-középhegységben (4. *táblázat*). Észak-Magyarországon, ahol a karbonátok kiporzásának



4. ábra. A Mátrahegység összevont anomáliatérképe (ÓDOR et al. 1997b nyomán)

Fig. 4 Cumulative anomaly map of Mátra Mts (after ÓDOR *et al. 1997b)*

egységesítő hatása nem érvényesül, az egyes tájegységeken meghatározott háttérértékek jóval változatosabbak. Így például jól megfigyelhető a mátrai ércesedés szóródási udvarának (Pb, Cu, As, Sb, Ba, Zn, Cd) a hátteret növelő hatása. Mint láthatjuk (*4. ábra*), a polimetallikus ércesedés kimutatására kidolgozott additív index az alacsony hőmérsékletű hidrotermákat egyáltalán nem jelzi.

Végjegyzet: Az additív index számítása:

	+1	+2	+3	+4
Au (mg/t)	6,5–12	> 20		
Ag (g/t)	> 0,2			
As (g/t)	12–22	39–44	> 60	
Cu (g/t)	30–45	> 100		
Pb (g/t)	40–45	55–110	> 190	
Zn (g/t)	100–250	300–700	900–2000	> 10 000

Irodalom – References

ALEMAYEHU, T. 2006: Heavy Metal Concentration in the Urban Environment of Addis Abeba, Ethiopia. – *Soil and Sediment Contamination* **15/6**, 591–602.

BÖJTÖSNÉ VARRÓK K. 1977: Az észak-magyarországi osztály 1975. évi működése. – *MÁFI Évi Jelentése* **1975-***ről*, 17–21.

ELSCHOLTZ L. & NÉMETH L. 1969: Ércelőfordulások szóródási udvarainak felderítésére alkalmas módszer. – *Hidrológiai Közlöny* **49/6**, 258–272.

FÜGEDI U. 1986: A szóródási nyelvek vizsgálatának eredményei. – In: NAGY G. et al.: Ércföldtani előkutatás a Középső- és Nyugatmátra területén, 1980–85, MÁFI Adattár, 128–142.

FÜGEDI U. 2004: Geokémiai háttér és nehézfémszennyezés Gyöngyösoroszi térségében. – *Földtani Közlöny* **134/2**, 291–301.

FÜGEDI U. & CSALAGOVITS I. 1977: A Mecsek-hegységi ritkafémkutatás eredményei. – Kézirat. MGSZ Adattár; Ter: 6885. 27 p.

FÜGEDI U., SZURKOS G. & VERMES J. 2005: Éghajlatváltozások geokémiai hatásai Magyarország középső és keleti részén. – *MÁFI Évi Jel.* **2004-***ről*, 65–71.

GEDEON A. 1964: geokémiai mérések a Mátra-hegységben. – *MÁFI Évi Jelentés* **1962-***ről*, 337–346.

HARTIKAINEN, A., HORVÁTH, I., ÓDOR, L., Ó. KOVÁCS, L. & CSONGRÁDI, J. 1992: Regional multimedia geochemical exploration for Au in the Tokaj Mountains, northeast Hungary. – *Applied Geochemistry* **7**, 533–547.

HARTIKAINEN, A., ÓDOR, L., HORVÁTH, I., Ó. KOVÁCS, L.& FÜGEDI, U. 1993: Regional geochemical survey of the Tokaj Mountains, northeast Hungary. – *Tutkimusraportti (Report of Investigation)* **120**, Geological Survey of Finland, Espoo. p. 32.

HORVÁTH I., ÓDOR L., FÜGEDI U. & HARTIKAINEN, A. 1993: Aranyindikációk a Tokaji-hegységi geokémiai érckutatásban. Gold indications in the regional-scale geochemical survey of the Tokaj Mts. (Hungary). – *Földtani Közlöny* **123/4**, 363–378.

HORVÁTH I., FÜGEDI U., ÓDOR L. & TUNGLI GY. 1994: Telkibánya környékének felszíni geokémiai vizsgálata. – *Topographia Mineralogica Hungariae* **2**, 133–139.

KUTI L., GEREI L., ZENTAY T. & VATAI J. 1999: Az ásványi összetétel szerepe a bugaci és fülöpi mintaterületek homoktalajaiban. – *Agrokémia és talajtan* **45/3–4**, 249–259.

KUTI L., ZENTAY T.& KERÉK B. 2002: A bugaci és a fülöpi mintaterület felszínközeli üledékeinek kalcium-karbonát tartalma. – *MÁFI Évi Jelentés* **1997–1998**-ról, 107–117.

KUTI L.,TÓTH T., KALMÁR J., KOVÁCS-PÁLFFY P. 2003: Szikes talajok ásványi összetétele és recens ásványképződés Apajpusztán és Zabszék térségében. – *Agrokémia és talajtan* **52/3–4**, 275–292.

LIS, J. & PASIECZNA, A. 1995: Geochemical Atlas of Poland. – Polish Geological Institute, Warsaw.

MOLNÁR B. 1980: Hiperszalin tavi dolomitképződés a Duna–Tisza közén. – *Földtani Közlöny* **110**, 45–64.

NAGY G. 1988: A középső és Nyugati-Mátra ércelőkutatása (1980–1985). – *MÁFI Évi Jelentés* **1986**-*ról.* 129–136.

ÓDOR, L., HORVÁTH, I. & FÜGEDI, U. 1997a: Low-density geochemical mapping in Hungary. – *Journal of Geochemical Exploration* **60**, 55–66.

ÓDOR L., HORVÁTH I. & FÜGEDI U. 1997b: Észak-Magyarország nemesfém perspektívái a patakhordalékok geokémiai felvétele alapján. – *Földtani Kutatás* **34/2**, 9–12.

ÓDOR L., HORVÁTH I. & FÜGEDI U. 1998: Magyarország geokémiai atlasza. – http://www.mafi.hu/geokem/Fomenu.html.

ÓDOR L., FÜGEDI U. & HORVÁTH I. 2000: Magyarország hegyvidéki területeinek hordalék-geokémiai felvétele. – Zárójelentés az 1988–2000 között végzett munkáról. Kézirat. MGSZ Adattár, T. 20 046, 38 p.

ÓDOR, L., WANTY, R. B., HORVÁTH, I. & FÜGEDI, U., 1998: Environmental Signatures of Mineral Deposits and Hydrothermal Alterations in Northeastern Hungary – a Case Study. – In: Deposit and Geoenvironmental Models for Resource Exploration and Environmental Security. NATO Advanced Study Institute, September 6–18, 1998, Mátraháza, Hungary. Abstracts, 29–30.

PEH, Z. & MIKO, S. 2003: Impact of geomorphological variables in weighing the lithological influence on geochemical composition of stream and overbank sediments: a regression model for the Zumberak area (NW Croatia). – *Geologia Croatica* **56/2**, 199–214.

VETŐ I. 1972: Jelentés az Aggteleki és Rudabányai hg. területén végzett geokémiai érckutatásról. – Kézirat, MGSZ Adattár. Budapest, 16 p.

10/2000. (VI. 2.) KÖM–EÜM–FVM–KHVM együttes rendelet A felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről.

219/2004. (VII. 21.) korm. rend. a felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról

http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/jogszab/jogszab12/219_2004.htm

Kézirat beérkezett: 2006. 09. 06.

Földtani Közlöny 137/1, 75–81. (2007) Budapest

Fuzzy számokkal végzett ásványvagyon-számítás

Estimation of solid mineral deposit resources, on the base of fuzzy sets theory

FÜST Antal[1]

(3 ábra)

Tárgyszavak: ásványvagyon-számítás, fuzzy elmélet
Keywords: estimation of mineral resources, fuzzy sets theory

Abstract

The study presents one of new methods for estimation of solid mineral deposit resources. This is the resources estimation on the base of fuzzy sets theory. The study deals with the parameter uncertainties, and in the estimation takes into consideration not only the statistical uncertainties, but the technical uncertainties too.

Összefoglalás

A tanulmány az ásványvagyon-számítás egy viszonylag új módszerét, a fuzzy számokkal történő vagyonszámítást ismerteti. A számítási paraméterek fuzzy halmazainak előállítása során részletes áttekintést ad az ásványvagyon-számítási paraméterek bizonytalanságainak figyelembevételi lehetőségéről. A tanulmány az eddigi gyakorlattól eltérően, a statisztikai bizonytalanság mellett a technikai hibákat is figyelembe veszi.

Bevezetés

Az „ásványi nyersanyag a föld felszínén vagy a felszín alatt a földkéregben előforduló olyan természetes eredetű szilárd, légnemű vagy cseppfolyós halmazállapotú ásványok feldúsulása, amelyek közvetlenül vagy feldolgozás után hasznosíthatók." (MGSZ, 2005).

Műszaki szempontból az ásványvagyon kiszámítása lényegében az ásványi nyersanyag mennyiségének és minőségének meghatározását jelenti.

Az „ásványvagyon az ásványi nyersanyagoknak azon része, amelynek mennyiségét, minőségét földtani, és bányaműszaki- és -gazdasági szempontok alapján becsléssel vagy számítással határozzák meg" (Bt, 1993).

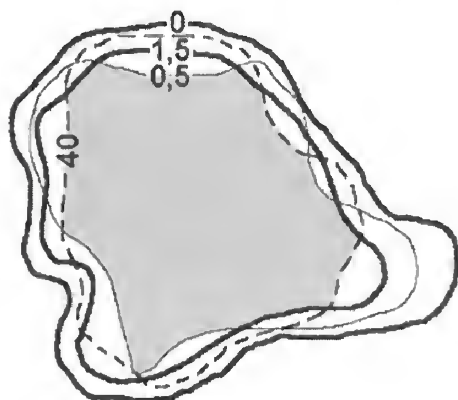
A leggyakrabban használt ásványvagyon-számítási módszerek

Az ásványtelepek alakjától, a települési viszonyoktól, a hasznos és káros komponenstartalom változásának jellegétől, a mintavétel sűrűségétől függően különböző ásványvagyon-számítási módszerek ismeretesek. Mindegyik módszer közös jellemzője, hogy a szabálytalan alakú ásványtestet többé-kevésbé azonos térfogatú, egy-

[1]Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, 1117 Budapest Pázmány P. sétány 1/c

szerű testekkel közelíti. A gyakorlatban azokat az ásványvagyon-számítási módszereket célszerű alkalmazni, amelyek a paraméterek grafoanalitikai modellezésére és geostatisztikai értékelésére épülnek (FÜST 2002). Figyelembe veszik a telepparaméterek változékonyságát, a különböző meghatározó jellegű paraméterek közötti sztochasztikus kapcsolatokat, valamint ugyanazon paraméter szomszédos értékei között kimutatható szabályos változást és a paraméterek megbízható térképezhetőségét.

A számításhoz ismerni kell az ásványtelep területét és a mintavételi helyeken mért paraméter-értékeket. A telep területét vagy műszaki határok vagy a vastagsági számbavételi határ jelöli ki. Fontos megjegyezni, hogy a vastagsági számbavételi határ adott minőségi számbavételi határt kielégítő ásványi nyersanyagra vonatkozik. A gyakorlatban ennek alapján történik a lehatárolás. Esetenként a terület a minimális hasznos és/vagy a még megengedhető káros komponens számbavétteli feltételeket kielégítő határvonalával, és a vastagsági számbavételi feltételek (kondíciók) eredőjeként határozható meg (*1. ábra*)



1.. ábra. Példa az ásványlelőhely lehatárolására

Fig. 1. Example for the border lines of a mineral deposit (vastagsági kondíció – thickness cut-off, hamutartalom kondíció – ash content cut-off, kéntartalom kondíció – sulphur cut-off)

A hagyományos, a paraméterek átlagértékein alapuló ásványvagyon-számítási módszerek, a jelenlegi gyakorlat szerinti alkalmazásban feltételezik, hogy az alapvető telepparaméterek (vastagság, térfogatsűrűség, terület) egymástól függetlenek ZAMBÓ 1965; FÜST 1987, 1997; WELMER 1989; GOCHT et al. 1988) A valóságban azonban a paraméterek között, a geológiai keletkezési körülményekből adódóan kisebb-nagyobb mérvű sztochasztikus kapcsolat mutatható ki, amely a paraméterek közötti kovariancia (COV) értékével mérhető (FÜST & ZERGI 1981). Ha a kovariancia nem nulla, akkor nem beszélhetünk a változók függetlenségéről.

Az egységnyi területre eső ásványvagyon mennyiségét [$M(q)_f$] egymástól független változók esetén általánosságban az $M(q)f = M(m) \cdot M(\gamma)$ szorzat adja, ahol $M(m)$ – a telepvastagság-, M(γ) – a térfogatsűrűség várható értéke. Amennyiben m, és γ nem függetlenek egymástól, úgy a $q_{nf} = m{\cdot}\gamma$ szorzat várható értékét az $M(q)_{nf} = M(m) \cdot M(\gamma) + COV(mq) = M(mq)$ összefüggéssel kell számolnunk.

Az elmondottak alapján a leggyakrabban használatos ásványvagyon-számítási módszerek a következők (FÜST 1997, 2002): számtani középarányos módszer, földtani- és a művelési tömbök módszere, háromszög- és négyszög módszer, sokszög módszer, izovonalas módszer, függőleges és vízszintes metszetek módszere, krigelés, fuzzy halmazok módszere. A következőkben csak a fuzzy halmazokkal végzett ásványvagyon számítással foglalkozunk.

A számított ásványvagyon szórása

A számított ásványvagyon szórásának meghatározásakor mindig különbséget kell tenni az egy helyen mért paraméter többszöri (ismételt) megméréséből adódó átlagértéke (pl. előkészített, homogenizált fúrómagminta többszöri vegyelemzése) és egy paraméter több helyen mért adataiból (pl. fúrásonkénti nyersanyag-vastagságok) számított átlagértéke között. Az első esetben egy paraméter technikai (mérési) hibákkal terhelt halmazáról, a másodikban egy paraméter több helyen mért értékeinek halmazáról van szó.

Egy paraméter átlagértékének szórása tehát két részből tevődik össze:

$$\sigma_{\bar{x}} = t\sqrt{\sigma_{\bar{x}_1}^2 + \sigma_{\bar{x}_2}^2}$$

Az összefüggésben:

$\sigma_{\bar{x}_1}$ – a paraméter technikai (mérési) jellegű szórása: $\sigma_{\bar{x}_1} = \dfrac{\mu_x}{\sqrt{n}}$

ahol μ_x - a paraméter egy helyen mért értékének technikai hibája.

$\sigma_{\bar{x}_2}$ – a paraméter n helyen mért értékeiből számított véletlen jellegű reprezentatív átlag szórása:

$$\sigma_{\bar{x}_2} = \frac{\sigma_v}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}}$$

ahol r – a paraméter felületet kiegyenlítő egyenes, sík vagy felület korrelációs együtthatója;
t – a valószínűségi tényező, 95%-os valószínűségi szinten számolva, $t=2$.
σv – a paraméter véletlen változékonyságából eredő szórása
σ – a szabályos és véletlen változékonyságegyüttes hatását tükröző egyes megfigyelések szórása

Természetesen az x paraméter több paraméterből is leszármaztatható. Például az egységnyi területre eső ásványvagyon, a lineáris ásványvagyon, azaz a helyi telepvastagság és a térfogatsűrűség szorzata: $q = m\gamma$.

Ha valamely p paraméter értékét más – egymástól független – paraméterekből matematikai összefüggésekkel származtatjuk le pl. $p = f(x, y, z, t...)$, akkor a számított paraméter μ_p szórását a hibaterjedés törvénye alapján határozhatjuk meg:

$$\mu_p = t\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 \sigma_t^2 + \cdots}$$

Az összefüggésben szereplő σ_x σ_y, σ_z, σ_t... szórások szintén két részből, technikai és reprezentatív szórásból tevődnek össze.

Az ásványvagyon számítása fuzzy számokkal

A fuzzy számokkal történő ásványvagyon számítás, egyszerre ad lehetőséget az ásványvagyon mennyiségének és szórásának meghatározására (FÜST 2002). A módszer megértéséhez röviden összefoglaljuk a fuzzy elmélet, vagy más néven a bizonytalan halmazok elméletének legfontosabb alapismereteit.

A fuzzy számok olyan speciális halmazok, amelyek rendelkeznek a következő tulajdonságokkal:

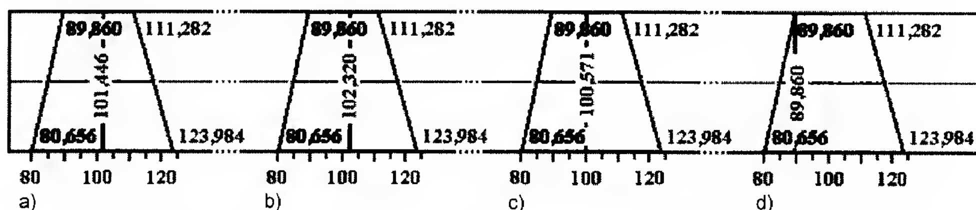
– a halmaznak legalább egy olyan pontja van, amelynek tagságértéke 1:

– a tagságfüggvény az 1 tagságértékig monoton növekvő szakasszal (felszálló ág) kezdődik, ezt követően egy konstans ág következik (ez állhat egyetlen pontból is), majd egy monoton csökkenő szakasszal (leszálló ág) fejeződik be.

A tagságfüggvények különböző alakúak lehetnek. A magyar földtani gyakorlatban a trapéz és a háromszög forma használata terjedt el.

A fuzzy halmazokkal matematikai műveletek végezhetők olymódon, hogy a műveleteket a halmazok sarokpontjaiban végezzük el, és így az eredmény is egy fuzzy halmaz lesz. A fuzzy halmazokkal végzett matematikai műveletek eredményei defuzzyfikálhatók, azaz az eremény visszaállítható konkrét crisp (valós, önmagában biztos) számmá.

A defuzzyfikálás számos módszere ismeretes (FULLÉR 2000). A leggyakrabban használatosak a következők (2. *ábra*)



2. *ábra* A defuzzyfikálás leggyakoribb módszerei és eredményei egy konkrét példában

Fig. 2 The methods and results of defuzzification in an example

A defuzzyfikált érték megegyezik az eredmény halmaz

– függőleges súlyvonalának abszcissza értékével (2. *ábra, a*);

– alap éle felezőpontjának abcissza értékével (2. *ábra, b*);

– maximális tagságfüggvény értékű pontjainak átlagához rendelhető abcissza értékével (2. *ábra, c*);

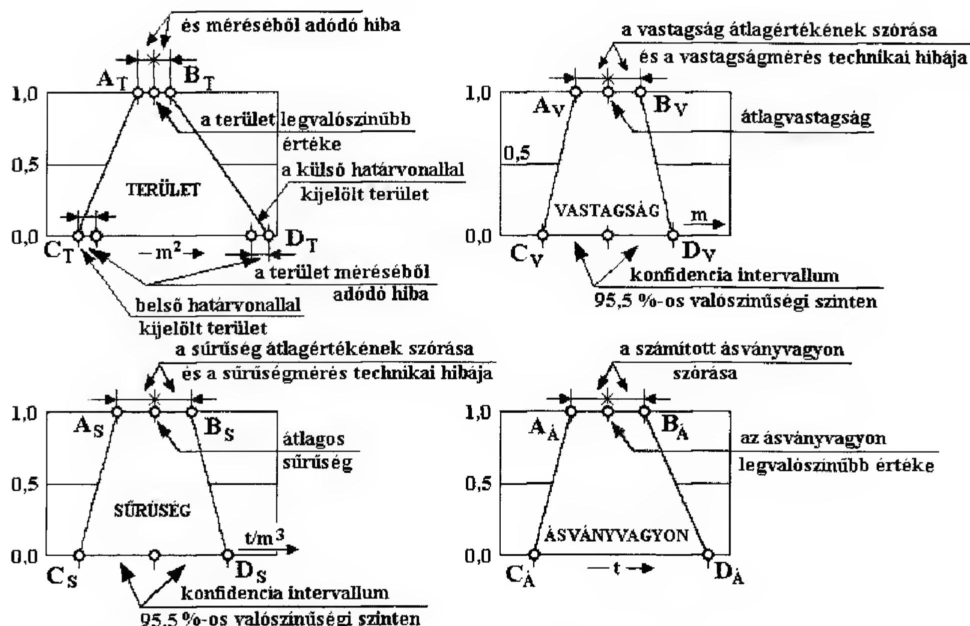
– a maximális tagságfüggvény értékű pontok közül a legkisebb abszcissza értékű abszcissza értékével (2. *ábra, d*).

Példa a fuzzy elmélet alapján végzett ásványvagyon számításra

Amennyiben az ásványvagyon mennyiségét fuzzy számokkal (KÓCZY & TIKK 2000) határozzuk meg, azaz az ásványlelőhely F területét, $\overline{m}$ átlagos vastagságát és γ átlagos térfogatsűrűségét fuzzy számként értelmezzük, az ásványvagyon Q mennyiségét is fuzzy számként kapjuk (BÁRDOSSY et al. 1995, 2000; BÁRDOSSY & FODOR 2000, 2004).

Ez a fuzzy szám azonban egyben a bizonytalanságot is szemlélteti és ezzel együtt, számszerűsíti a számított ásványvagyon szórását. Tekintsük meg a 3. *ábrát*!

Az ábrán az ásványvagyon számításához szükséges paraméterek (a telep területe, átlagos vastagsága és átlagos térfogatsűrűsége) valamint az ásványvagyon fuzzy



3. ábra. Az ásványvagyon-paraméterek és az ásványvagyon fuzzy számként való értelmezése

Fig. 3. Interpretation of the mineral resource parameters and the mineral resource as fuzzy numbers (terület - area, a terület lehatárolásából és méréséből adódó hiba - uncertainty issues from borderline and from measurement of the area, a terület legvalószínűbb értéke – most probable value of area, a belső határvonallal kijelölt terület – area bordered with the internal borderline, a külső határvonallal kijelölt terület – area bordered with the external borderline, a terület méréséből adódó hiba – uncertainty issues from measuring of area, vastagság – thickness, a vastagság átlagértékének szórása és a vastagságmérés technikai hibája – dispersion of thickness mean value, and the technical error of tickness measurement, átlagvastagság - mean value of thickness, konfidencia intervallum 95,5%-os valószínűségi szinten – confidence interval in 95,5% probability level, térfogatsűrűség – bulk density a térfogatsűrűség átlagértékének szórása, a sűrűségmérés technikai hibája – dispersion of bulk density mean value, and the technical error of bulk density measurement, konfidencia intervallum 95.5%-os valószínűségi szinten – confidence interval in 95,5% probability level, ásványvagyon – mineral resource, a számított ásványvagyon szórása – dispersion of calculated mineral resource, az ásványvagyon legvalószínűbb értéke – most probable amount of mineral resource)

számként való értelmezése látható. Vizsgáljuk meg először a telep területét. Ennek minden ásványvagyon számítás esetében három értéke számítható. Ezek: a szélső produktív fúrásokat összekötő, ún. belső határvonallal határolt terület (C_T), a produktív fúrásokhoz legközelebbi meddő fúrások összekötő vonala (külső határvonal) által határolt terület (D_T), valamint a telep legvalószínűbb területe (*F*), melyet többféle módszerrel lehet meghatározni. Amennyiben eltekintünk *F* meghatározási és mérési hibájától, akkor a terület mint fuzzy szám magját egyetlen pont, egy *F* értékű pont alkotja. A terület mint fuzzy szám talpát ugyanakkor a C_T és D_T értékű pontok jelölik ki, azaz a területet egy (többnyire nem egyenlő szárú) háromszög alakú fuzzy szám írja le. Célszerű azonban figyelembe venni, hogy *F* esetében mindenképpen jelentkezik egy terület-meghatározási hiba, melynek nagysága attól függ, hogy a területet határoló vonalát milyen módszerrel szerkesztettük meg. Amennyiben a határoló vonalat a szélső produktív és meddő fúrások összekötő

vonalának felezőpontjain átmenő vonal jelöli ki, akkor a hiba nagysága a $dF_2 \approx 1/6a \cdot b\sqrt{n_b}$ tapasztalati összefüggéssel számítható, ahol a és b a fúrási hálózat oldalhossza a kiélelődés mentén, n_b pedig az ennek megszerkesztéséhez felhasznált produktív fúrások száma (db). Ha a telep F területét nem a vonalat alkotó pontok koordinátáiból számítjuk, hanem valamilyen más módszerrel mérjük, akkor figyelembe kell vennünk egy terület mérési hibát is, melynek nagysága például planimetrálás és szokványos készletszámítási térkép méretarányok mellett, a $dF_1 \approx 1/300F$ tapasztalati összefüggéssel számítható.A két hibarész összege:

$$dF = \left[(dF_1)^2 + (dF_2)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Az $A_T = F - dF$, $B_T = F + dF$ pontok a terület mint fuzzy szám magjában egy intervallumot jelölnek ki. A fuzzy szám talpa (tartója) egy olyan intervallum, amelynek egyik végpontja – amennyiben a területeket a fúrások koordinátáiból számítjuk és eltekintünk a koordináták hibájától – C_T, a másik D_T. Ha a területeket mérjük és a mért értékek C'_T és D'_T, akkor $C_T = C'_T - dF_1$; $D_T = D'_T + dF_1$. A terület mint fuzzy szám tehát egy (többnyire nem egyenlőszárú) trapéz.

A telep vastagságát és térfogatsűrűségét egyaránt trapéz alakú fuzzy számok reprezentálják. Ezeknél a magot az átlagérték szórásából és a mérés technikai hibájából képzett hibatényező jelöli ki. A fuzzy szám talpát hasonló módon, de 95,5%-os valószínűségi szinten meghatározott konfidencia intervallum jelöli ki. A telepvastagság esetében rendelkezünk a ferdeség ismeretében becsült $\bar{m}$ átlagértékkel, valamint ennek reprezentatív (átlagérték) szórásával $\sigma_{\bar{m}_1}$, továbbá a vastagságmérés egy fúrásra vonatkoztatott μ_m hibájával, melyből:

$$\sigma_{\bar{m}_2} = \frac{\mu_m}{\sqrt{n}}$$

A két hibarész gyökjel alatt összegeződik, így: $\sigma_{\bar{m}} = \sqrt{\left(\sigma_{\bar{m}_1}\right)^2 + \left(\sigma_{\bar{m}_2}\right)^2}$

A vastagság mint fuzzy szám magjának, valamint talpának sarokpontjait a következő összefüggésekkel jelöljük ki:

$A_V = \bar{m} - \sigma_{\bar{m}}$; $B_V = \bar{m} + \sigma_{\bar{m}}$; $C_V = \bar{m} - 2\sigma_{\bar{m}}$; $D_V = \bar{m} + 2\sigma_{\bar{m}}$.

Hasonló meggondolásokkal, mint előbb, a térfogatsűrűség esetében: $A_S = \bar{\gamma} - \sigma_{\bar{\gamma}}$; $B_S = \bar{\gamma} + \sigma_{\bar{\gamma}}$; $C_S = \bar{\gamma} - 2\sigma_{\bar{\gamma}}$; $D_S = \bar{\gamma} + 2\sigma_{\bar{\gamma}}$.

Az $A_Á = A_T \cdot A_V \cdot A_S$; $B_Á = B_T \cdot B_V \cdot B_S$; $C_Á = C_T \cdot C_V \cdot C_S$; $D_Á = D_T \cdot D_V \cdot D_S$ egyenletek az ásványvagyon mint trapéz alakú fuzzy szám sarokpontjait adják. $C_Á$ és $D_Á$ értéke azt fejezi ki, hogy 95,5%-os valószínűségi szinten a legkedvezőtlenebb esetben sem lehet az ásványvagyon $C_Á$-nál kisebb és $D_Á$-nál nagyobb, azaz az eseteknek csak 4,5%-ában fordulhat elő, hogy az ásványvagyon kisebb mint $C_Á$ vagy nagyobb mint $D_Á$. A leginkább valószínű vagyon intervallumát maga a mag adja, amely $A_Á$-tól $B_Á$-ig terjed. Ezen a szakaszon minden egyes értéknek azonos a bekövetkezési valószínűsége. Az eredményül kapott fuzzy szám a defuzzyfikációs módszerek valamelyikével hagyományos eredménnyé alakítható.

A szórás meghatározásához tekintsük meg újra a 3. *ábrát*. A területet, a vastagságot és a sűrűséget jellemző fuzzy számokat összeszorozva, az ásványvagyont reprezentáló fuzzy számot kapjuk. Az 1 tagság értékű $A_Á - B_Á$ szakaszon lévő

számok mindegyike azonos bekövetkezési valószínűséggel rendelkezik. Ezen a tartományon belül az adott kutatási adatok birtokában nem lehet kitüntetett vagyonértéket felvenni.

Irodalom – References

BÁRDOSSY, Gy. & FODOR, J. 2000: Handling uncertainty in geology by new mathematical methods. Budapest Politechnic Hungarian Fuzzy Association. – Proceedings of the International Symposium of Hunbgarian Researchers Compotational Intelligence, 93–109.

BÁRDOSSY, Gy. & FODOR, J. 2004: Evaluation of Uncertainties and Risk in Geology. – Springer, Berlin, Heidelberg, New-York, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo, 221 p.

BÁRDOSSY Gy., FODOR J., MOLNÁR P. & TUNGLI Gy. 2000: A bizonytalanság értékelése a földtanban. – *Földtani Közlöny* **130/2**, 291–322.

BÁRDOSSY Gy, R. SZABÓ I. & VARGA G. 1995: Az ásványvagyon értékelés új módszerei. – *Földtani Kutatás* **38/3**, 35–44.

Bt., 1993: Az 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról.

FULLÉR, R. 2000: Introduction to Neuro-Fuzzy Systems. – Physica-Verlag, Heidelberg, New York, 289 p.

FÜST A., 1987: Geostatisztikai összefoglaló. – (Mérnöktovábbképző tanfolyam jegyzete), Országos Érc és Ásványbányák sokszorosítása, Budapest, 186 p.

FÜST A. 1997: Geostatisztika. – Eötvös Kiadó, Budapest, 427 p.

FÜST A. 2002: Természeti folyamatok geostatisztikai modellezése, különös tekintettel az ásványlelőhelyek kutatására és értékelésére. – Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 117 p.

FÜST A. & ZERGI I. 1981: Az ásványvagyon mennyiségének és szórásának meghatározása függő változók esetén. – *BKL-Bányászat* **114/3**, 173–176.

GOCHT, W. R., ZANTOP, H. & EGGERT, R.G. 1988: International Mineral Economics. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 271 p.

KÓCZY T. L. & TIKK D. 2000: Fuzzy rendszerek. – Typotex Kiadó, Budapest 209 p.

MGSZ, 2005: Magyarország Ásványi Nyersanyagvagyona, 296 p.

WELLMER, F. W. 1989: Economic Evaluation in Exploration. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, 150 p.

ZAMBÓ, J. 1965.: Bányaművelés. Feltárás és fejtés. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 450 p.

Kézirat beérkezett: 2006. 05. 10.

Földtani Közlöny 137/1, 83–102. (2007) Budapest

A szakirodalomban használt fluidum- és olvadékzárványokkal kapcsolatos kifejezések és szimbólumok szótára

Terms and symbols used in English and Hungarian fluid and melt inclusion literature

SCHUBERT Félix[1] – KÓTHAY Klára[2] – DÉGI Júlia[3] – M. TÓTH Tivadar[1] – BALI Enikő[3] – SZABÓ Csaba[3] – BENKÓ Zsolt[4] – ZAJACZ Zoltán[5]

Tárgyszavak: szószedet, fluidumzárvány, olvadékzárvány, szakkifejezés, magyarosítás

Keywords: glossary, fluid inclusion, melt inclusion, terms, Hungarian translation

Abstract

Due to the increasing number of presentations and publications dealing with fluid and melt inclusions, it became apparent that it would be worth compiling auniform, Hungarian terminology. This study is based on the glossary compiled by L. W. DIAMOND in 2003.

Összefoglalás

A fluidum- és olvadékzárványokkal foglalkozó előadások, dolgozatok és publikációk számának növekedésével felmerült az igény az egységes, magyar nyelvű terminológia alapvető fogalmainak rögzítésére. A szótár alapját L. W. DIAMOND 2003-ban publikált szószedete képezi.

Bevezető

2005-ben, az olaszországi Sienában megrendezett XVIII. European Current Research on Fluid and Melt Inclusions (ECROFI XVIII) konferencián a résztvevők számát tekintve a rendező olaszok után a magyaroké volt a legnépesebb „delegáció”. A konferencián egyértelműen kiderült, hogy a magyar szakemberek sikeresen alkalmazzák a fluidum- és olvadékzárványok vizsgálatát különböző földtani kérdések megválaszolására is. Amint azt a konferencián hallhattuk a magmás és metamorf kőzettan, a szerkezetföldtan, a szénhidrogén-migráció körülményeinek rekonstruálása, valamint a legmodernebb analitikai, kísérleti módszerek zárványokon történő alkalmazási lehetőségeinek fejlesztése csupán néhány kiragadott példa arra, hogy honfitársaink milyen széles körben alkalmazzák sikeresen az e tudományágban rejlő lehetőségeket. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy a fent említett tanulmányok jó

[1] SZTE, Ásványtani, Geokémai és Kőzettani Tanszék H–6722 Szeged Egyetem u. 2. e-mail: schubert@geo.u-szeged.hu

[2] ELTE, Természetrajzi Múzeum H–1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c

[3] ELTE, Kőzettani Tanszék H–1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c

[4] ELTE, Ásványtani Tanszék H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c

[5] ETH Zürich, Institute für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe CH–8092 Zürich, Clausiusstrasse 25.

része – az alkalmazott műszerek költséges volta folytán – vagy közös külföldi projektek keretében, vagy teljes egészében külföldi intézetekben valósul meg.

Az eddigi eredményeket látva úgy gondoljuk, a továbbiakban is érdemes és ajánlott az egyetemi hallgatók és kutatók figyelmét felhívni és ráirányítani a fluidum- és olvadékzárványok vizsgálatához szükséges ismeretek elsajátítására és biztatni őket a módszer alkalmazására.

A fluidumzárvány vizsgálatok földtani alkalmazását Vetőné Ákos Éva és Gatter István vezette be hazánkban. Az első korszerű laboratóriumot – számos rangos külföldi kutatóhelyet megelőzve – Kiss János professzor kezdeményezésére, az ELTE Ásványtani Tanszékén állították fel, 1978-ban. Szerencsére napjainkban már több labor is működik az országban (pl.: ELTE Ásványtani Tanszék, Kőzettani és Geokémiai Tanszék; Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék), amelyekben lehetőség nyílik a jelenleg legmodernebb hűthető-fűthető tárgyasztalok használatára. A megelőző gondos petrográfiai leírásra támaszkodva, rendszerint az így elvégezhető mikrotermometriai mérések szolgáltatják a legalapvetőbb adatokat, ismeretanyagot.

A Mineralogical Association of Canada szervezésében 2003-ban megrendezett rövid kurzus szervezőiben merült fel az elhatározás, hogy elkészítik a fluidumzárványokkal foglalkozó tanulmányokban leggyakrabban előforduló terminusok tömör, lényegretörő szójegyzékét és magyarázóját angol nyelven, amelyet a Berni Egyetem professzora, Larryn W. Diamond (2003) állított össze. Ezen összefoglaló munkára nem csupán az egyes szakkifejezések rövid magyarázata miatt volt égető szükség, hanem azért is, mert ezáltal megszületett egy mérvadónak számító, a tudományág legelismertebb kutatói által elfogadott egységes fogalomrendszer, amelyben ezután bárki utánanézhet, hogy milyen rövidítést, betűtípust, formázást célszerű használni az egyértelműség érdekében, elkerülendő a különböző nyelvterületek kisebb-nagyobb értelmezési különbségeit.

Jóllehet Magyarországon évtizedek óta számtalan, fluidumzárványokkal foglalkozó tudományos cikk, diplomamunka és tanulmány készült, mégis számos angol szakkifejezésnek nem született magyar megfelelője, esetleg nem terjedt el vagy nem ismert. Ennek érdekében úgy gondoltuk, hogy megkíséreljünk „nemzeti konszenzust" kialakítani egy olyan magyar nyelvű fluidumzárvány-nevezéktan megalkotása érdekében, amelyet reményeink szerint mindenki nyugodt szívvel használhat a magyar nyelvű tanulmányok elkészítése során.

E munka gerincét az angol nyelvű szószedet – lehetőség szerint legpontosabb – magyar fordítása alkotja, ezt egynéhány további, fontosnak ítélt, illetve kevéssé ismert szakkifejezéssel, valamint rövid műszermagyarázattal egészítettünk ki. Az angol nyelvű irodalom olvasását megkönnyítendő, a fogalmakat és azok magyarázatát az angol szakkifejezések ábécérendjében ismertetjük. Különös jelentőséggel bírt az eredeti szószedet összeállításakor a rövidítések/szimbólumok egységesítése. Álláspontunk szerint az egyszerűség és érthetőség érdekében a magyar nyelvű irodalomban is célszerű lenne az angol nyelvű rövidítések/szimbólumok használata, azok változtatás nélküli átvétele. Az eredeti szószedet szerzője szigorúan ragaszkodott az SI-mértékegységek és jelölési rendszer betartásához. Ennek megfelelően a rövidítésekben és szimbólumokban a változók dőlt betűvel, az állandók illetve egyéb szimbólumok normál betűtípussal írandók.

E munka – legnagyobb igyekezetünk ellenére is – hiányos, bővítésre, pontosításra szorulna, aminek oka – e kiadvány terjedelmi korlátaitól eltekintve – az évről évre megjelenő, ma még ismeretlen új módszerek, technikák, ismeretek megjelenésében keresendő. Ennek érdekében reményeink szerint ezen összefoglaló munka a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékének honlapján (http://www.sci.u-szeged.hu/asvanytan) tovább fog élni, ahol lehetőség lesz – az új ismeretek felhasználásával – a leírtak módosítására, kiegészítésére. E munkához kérjük és szívesen várjuk minden érdeklődő kolléga hozzászólását, véleményét, kritikai észrevételét.

Szótár

Accidentally-Trapped Phases, Minerals — véletlenszerűen csapdázódott fázisok, ásványok → *Captured Phases, Trapped Phases.*

Assemblage — együttes: → *Fluid Inclusion Assemblage (FIA) — fluidumzárvány-együttes és Phase Assemblage — fázisegyüttes*

Boiling — forrás

A forrás az a folyamat, amely során egy több komponensből álló folyadék keresztezi a buborékpontgörbét (ill. egy egykomponensű folyadék *pT* útja metszi a folyadék-gőz fázishatárt), amelynek eredményeként folyadék + gőz vagy folyadék + folyadék együttesek alakulnak ki. A forrás folyamata során a fázishatár átlépése egy meghatározott irányban történik (L→LV), amit a hőmérséklet (*T*), nyomás (*p*) és térfogat (*V*) paraméterekben bekövetkező bármely változás előidézhet. Földtani környezetekben a forrás során kialakuló folyadék- és gőzfázisok vagy kapcsolatban maradnak (zárt rendszerű forrás), vagy a kisebb sűrűségű fluidum eltávozása révén elkülönülnek (nyílt rendszerű forrás). A forrással ellentétes irányú folyamat a kondenzáció.

Boiling Curve, Boiling-Point Curve — forráspontgörbe → *Bubble Curve, Bubble-Point Curve — buborékpontgörbe*

Bubble Curve, Bubble-Point Curve — buborékpontgörbe

Több komponensből álló fluidumzárványok fázisdiagramján az LV illetve L stabilitási mezőket a „buborékpontgörbe" választja el. E szakkifejezés eredete abból a megfigyelésből származik, amely szerint a fűtés során az LV zárványok (illetve bármely LV rendszer) *p-T* útja metszi a buborékpontgörbét, ahol a gőz fázis (buborék) eltűnik (LV→L). Ellenkező esetben, amikor a zárvány *p-T* útja a hűtés során keresztezi a buborékpontgörbét, a buborék újra megjelenik. A gőzbuborék sajátos nukleációs kinetikája következtében a hűlés során az új fázis (V) megjelenése alacsonyabb hőmérsékleten következik be, mint melegítéskor annak eltűnése. A buborékpontgörbe a kritikus pontnál kapcsolódik össze a harmatpontgörbével. Az angol nyelvű szakirodalomban egyes szerzők a buborékpontgörbe kifejezés helyett a forráspontgörbét (boiling-point curve) használják, jóllehet a „forrás" egy folyamatra, és nem egy állapotra utal.

Bulk vagy Total — teljes

A fluidumzárvány egészére vonatkozó tulajdonság, pl. bulk density = teljes sűrűség, azaz a zárványt alkotó fázisok eredő tömegéből számított sűrűség.

Captured Phases, Captured Minerals, Captured Crystals — befogott fázisok, ásványok, kristályok (egyes szakirodalmakban **csapdázott, bezáródott fázisokként** említik)
A bezáródás során a zárványba került bármely (szilárd, folyékony, légnemű) fázis vagy fázisok. Ilyenek lehetnek, pl. az adott rendszerben már jelen levő, apró csillámlemezkék, amelyek vagy a zárvány képződésekor csapdázódnak, vagy a bezáró ásvány kiválásakor az adott kristályfelszín növekedése során hibaforrásként működve, fluidumzárvány kialakulását eredményezik, és így csapdázódnak. Hasonlóképpen, amennyiben a fluidumzárvány kialakulásakor a pórusfolyadékot egynél több fluidumfázis alkotja (pl. folyadék és gőz vagy két nem elegyedő folyadék), e fluidumok különböző arányban, csapdázódott fázisokként záródhatnak be. A csapdázódott fázisok térfogatarányai egy adott fluidumzárvány-együttes tagjai között rendszerint igen eltérőek. Ennélfogva egy zárványegyüttesen belül az egyes fázisok térfogatarányainak összevetése fontos szempont a csapdázott és származékfázisok elkülönítésekor. A legtöbb csapdázott fázis oldhatósága meglehetősen kicsi az eredeti szülőfluidumban, amelynek maradványát a fluidumzárvány őrzi. Amennyiben az eredeti szülőfluidum a bezáródást megelőzően a csapdázott fázisokra vonatkozóan telített volt, e fázisok nem képesek feloldódni a bezáródási hőmérsékletig történő felfűtés során. Rendkívüli körültekintést igényel annak eldöntése, hogy egyes jól oldódó ásványok (pl. halit) vajon csapdázódott, vagy származékfázisoknak tekintendők-e az adott esetben, ugyanis ezek a természetes zárványokban mindkét bezáródási mechanizmus révén kialakulhatnak. Szinonima: *Accidentally-Trapped Phases — véletlenszerűen csapdázódott fázisok.*

Clathrate → *Gas-Hydrate Clathrate — gáz-hidrát*

Component — összetevő, komponens
Komponensek alatt egy termodinamikai rendszer összes fázisának felépítéséhez szükséges és elégséges kémiai anyagokat értjük. Egy komponens lehet valóságos vagy elméleti. A komponensek számának minimálisnak kell maradnia annak érdekében, hogy a Gibbs-féle fázistörvény teljesüljön. Pl. a CO_2 és H_2O képlet az alábbi hét fázis leírására elegendő: szilárd CO_2, jég, $CO_2 \times 7{,}5H_2O$ gázhidrát, CO_2-dús folyadék, H_2O-dús folyadék, CO_2-H_2O gőz, CO_2-H_2O szuperkritikus fluidum. Azaz a komponensek száma nem szükségszerűen azonos a rendszerben jelenlevő összes kémiailag egységes anyag számával (l. $CO_2 \times 7{,}5H_2O$ gázhidrát, amely fázis a CO_2 és H_2O komponensekből ki tud alakulni). Megtörténhet, hogy a kiválasztott komponensek nem elegendőek a rendszerben előforduló valamennyi vegyület leírására, pl. a CO_2^- tartalmú víz tartalmaz HCO_3^-- és H^+-ionokat. A rendszert alkotó komponensek kiválasztásakor azonban nem szükséges az olyan kis koncentrációban előforduló összetevők figyelembevétele, amelyek a fázisátmenetekre nem gyakorolnak mérhető hatást.

Consistent Phase Ratios — állandó fázisarány → *Volume Fraction — térfogatarány*

Critical Point — kritikus pont
Egy adott összetételű rendszerben, azon p-T-V_m pont, amelynél magasabb hőmérsékleten az egyensúlyban lévő L és V fázisok sűrűsége azonos. Kritikus móltérfogattal (Vm) bíró fluidumzárvány homogenizációja – a kritikus hőmérsékleten – a fázishatár (meniszkusz) elhalványodásával következik be. E fázisátalakulás LV→SCF vagy L = V jelöléssel írható fel. Hűtéskor az átalakulás az ellenkező irányban (SCF→LV), ugyanazon hőmérsékleten játszódik le, azaz nem tapasztalható túlhűlés. Bármely fluidumnak (és fluidumkeveréknek) van legalább egy kritikus pontja, pl. 20 mól% CH_4 és 80 mól% CO_2 összetételű keverék kritikus pontjának hőmérséklete és nyomása 8 °C és 8,5 MPa. A geokémiai irodalomban gyakran olvasható „szuperkritikus állapot” egy szűkebb fogalom. Ez alatt rendszerint a tiszta víz (mint a földkéreg egyik leggyakoribb oldószerének) kritikus pontja (374 °C és 22 MPa) feletti nyomás- és hőmérséklettartományt értik. Valójában nem célszerű e leszűkített fogalom használata, mivel a fluidumzárványokban – a H_2O-domináns oldatokon kívül – bármilyen egyéb fluidum előfordulhat.

Critical Temperature — kritikus hőmérséklet → *Critical Point — kritikus pont*

Crushing Stage — törőasztal

Csipeszre emlékeztető, a mikroszkóp tárgyasztalára helyezhető eszköz, melynek középső részén két tárgylemez feszíthető egymásnak. A két üveglemez közé – valamiféle folyadékba – helyezett kristályszemcsék, vastagcsiszolat-darabok összeroppantása során a felnyíló fluidumzárványokból kiszabaduló buborék méretváltozása és oldódási tulajdonságai alapján megközelítően jellemezhető a buborék összetétele és a zárványban – a felnyílást megelőzően – uralkodó nyomás. (Részletesen l. ROEDDER 1984, p. 212.)

Daughter Phase, Daughter Mineral — leányfázis, leányásvány (egyes szakirodalmakban **származékfázisként** említik)

Bármely – szilárd, folyékony vagy légnemű – fázis, amely a zárvány képződését, azaz a szülőfluidumtól történő elkülönülést követően, a hűlés során vált ki. Kvarcban, a víz stabilitási tartományába eső *p* és *T* viszonyok között bezáródott H_2O-zárványban a hűlés következtében származékfázisként elsőként buborék formájában gőzfázis jelenik meg, majd a további hűlés során szilárd származékfázisként jég. Annak érdekében, hogy egy származékkristály egy fluidumzárványban kiválhasson, és optikai eszközökkel megfigyelhető méretűre növekedhessen – paradox módon – a kiindulási szülőfluidumban a hőmérséklettel növekvő oldhatóságot kell mutatnia. Emiatt például a halit gyakori származékásvány nagy hőmérsékleten bezáródott fluidumzárványokban. Ezzel szemben például az olyan ásványok, mint a csillámok vagy a földpátok – kis hőmérsékletű és nyomású, pl. üledékes rendszerekben – rendszerint annyira kis mértékben oldódnak a kiindulási fluidumban, hogy a fluidumzárványokban a hűlés során ritkán válnak ki megfigyelhető mennyiségben. A hőmérséklettel fordított oldhatóságot mutató származékásványok (pl. karbonátok) kiválása a zárványok fűtése során játszódik le. Egyes bezáró ásványok (mint pl. a fenti példában bemutatott kvarc) bizonyos mértékű kiválása – a hűlés során – szintén lejátszódik. E kiválás rendszerint epitaxiálisan, a zárvány üregének falán következik be, ezért szobahőmérsékleten az azonos anyagú továbbnövekedés nem észlelhető elkülönülő leányfázisként. Elviekben minden (szilárd, folyékony vagy légnemű) származékfázis kiválási folyamata – a bezáródási hőmérsékletig felfűtve – reverzibilis folyamatként kell lejátszódjon. A gyakorlatban ez nem mindig igaz, különösen a szilikátásványok (kedvezőtlen) oldódási kinetikája miatt. Ugyanazon fluidumzárvány-együttes tagjaiban az adott származékfázis térfogatarányai rendszerint egyenlők. Ennélfogva a térfogatarányok összehasonlítása rendkívül fontos a származék- és csapdázódott fázisok elkülönítésekor. Ez alól kivételt jelentenek azok az esetek, amikor az együttes egyes zárványaiban nem következik be a leányfázis kiválása. Vö. *Captured Phases — bezáródott fázisok.*

Decrepitation Temperature (T_d) — felnyílási/dekrepitációs hőmérséklet

Azon hőmérséklet, amelyen egy fluidumzárvány irreverzibilis módon megreped, „szétpattan". A zárványüreg térfogatának megváltozását előidéző szélsőséges belső nyomásnövekedést vagy a fluidum fűtés során bekövetkező tágulása vagy a hűtéskor kikristályosodó jég okozza. A fogalom a zárvány tartalmának (vagy egy részének) eltávozására, a bezáró üreg térfogatának megváltozására utal. Vö. *Stretching — tágulás.*

Density (ρ_α) — sűrűség

Adott anyag egységnyi térfogatának tömege. A fogalom egy zárvány teljes sűrűségére (ρ_{teljes}) vagy a zárvány egy adott fázisának (pl. $\rho_{gőz}$) sűrűségére utal. Rendszerint g/cm³ egységben fejeznek ki. → még *Molar Volume — móltérfogat.*

Dew Curve, Dew-Point Curve — harmatpontgörbe

Több komponensből álló fluidumzárványok fázisdiagramjain a harmatpontgörbe a gőz, illetve folyadék-gőz stabilitási tartományokat választja el. A fluidumzárványokban a fűtés során a harmatpontgörbe metszésekor a vékony folyadékfilm eltűnése figyelhető meg (LV→V). Hűtés

esetében és valahányszor, amikor az adott rendszer összetétele csak részben ismert, az első olvadék megjelenésének hőmérsékletét kezdeti olvadási hőmérsékletként (initial melting temperature, T_i) célszerű megadni.

Exsolution — szételegyedés

Szételegyedés alatt azt a folyamatot értjük, amely során egy többkomponensű oldat (alkotta fázis) két, eltérő összetételű fázisra bomlik. Többkomponensű (fluidum-) rendszerben a szételegyedés megfelel a forrásnak. A szételegyedés szakkifejezés használata a rendszer összetételbeli fejlődését hangsúlyozza, míg a forrás a fizikai változásra, fejlődésére (két eltérő sűrűségű fázis kialakulására) mutat rá. Többkomponensű szilárd oldatok esetében a szételegyedés egy kezdeti homogén fázisból két szilárd fázis kialakulásának folyamatára utal. A szételegyedést előidézheti a T, p és V paraméterek megfelelő változásainak bármely kombinációja is.

F → Volume Fraction — térfogatarány

Final Melting Temperature (T_m) — végső olvadási hőmérséklet

Az a hőmérséklet, amelyen egy fluidumzárványban előforduló szilárd fázis – a progresszív fűtés hatására – teljes mértékben megolvad (vagy feloldódik vagy disszociál). A végső olvadási hőmérséklet rögzítése mellett fel kell jegyezni a reagáló anyagokat és a képződő termékeket, pl. T_m(jég+L+V→L+V). Amennyiben az olvadó szilárd anyag összetétele nem határozható meg, a folyamat a következőképpen jelezhető (T_m(S_1+ L+V → L+V). Amennyiben a reagáló anyagokat és a képződő termékeket a szerző már ismertette, úgy cikkekben, tanulmányokban a folyamatok rövidítve is jelölhetők, pl. T_m(CO_2), T_m(Ice), T_m(Cla), T_m(Halite). Előfordulhat, hogy egy adott szilárd fázis kezdeti és végső olvadási hőmérséklete között jelentős különbség van. Egyes esetekben a szilárd fázis végső olvadási hőmérséklete egyúttal egybeeshet a zárvány teljes homogenizációs hőmérsékletével, pl. T_m = T_h(Halite + L→L). Egyes szakirodalmakban találkozhatunk a T_m helyett a T_f jelzéssel, ahol az „f" a fúzió szóra utal. A T_f szimbólumot néha a képződési hőmérséklet (temperature of formation) jelölésére használják.

First Melting Temperature → *Initial Melting Temperature — kezdeti olvadási hőmérséklet*

Fluid — fluidum

Több más nyelvvel ellentétben, az angolban a „fluid" szakkifejezés bármely, folyásra képes fázisra alkalmazható; ennélfogva mind a folyadék és gőz fázisok, illetve olvadék jelölésére. A „supercritical fluid (SCF)" kifejezés különösen találó, mivel ez egy folyásra képes fázist jelöl, ami a definíció szerint – halmazállapotát tekintve – se nem folyékony, se nem légnemű. Megjegyzendő, hogy a magyar nyelvben különbséget kell tenni a „fluid" és a „fluidum" szavak között. Míg az első egy állapotot jelző melléknév, az utóbbi főnév.

Fluid Inclusion — fluidumzárvány (egyes szakirodalmakban **fluidzárványként**, ill. **folyadékzárványként** említik)

Bármilyen egy- vagy többfázisú fluidum – mennyiségtől függetlenül, ami kristályos vagy amorf anyagba bezáródva fordul elő. Amennyiben az adott tanulmány megkívánja, e szakkifejezésbe beleérthetők – a szemcsehatárok mentén – a kristályok közé bezáródott fluidummaradványok is (fluid "exclusions"). A „fluidumzárvány" szakkifejezés az olvadékzárványok megnevezésére is használatos, mivel tartalmuk a bezáródáskor folyékony volt. Normális légköri körülmények között az olvadékzárványok kőzetüvegből és/vagy finom kristályok aggregátumából épülnek fel. Egyes olvadékzárványok folyadék- és gőzfázist is tartalmaznak. Következésképpen a fluidum- és olvadékzárványok közötti különbség meghatározása megállapodás kérdése.

Fluid Inclusion Assemblage (FIA) — fluidumzárvány-együttes
Azonos folyamatok során kialakult (kogenetikus) fluidumzárványok azon csoportja, melyek egy adott petrográfiai bélyeg/szerkezet (pl. növekedési zóna, behegedt törés) mentén foglalnak helyet, és egyértelműen felismerhetők optikai mikroszkóppal vagy más petrográfiai képalkotó módszerrel.

Fluid Inclusion Generation (FIG) — fluidumzárvány-generáció
Fluidumzárvány-együttesek szöveti bélyegek alapján egykorú csoportjai. Pl. egy kőzetminta tartalmazhat egyfázisú folyadék-, illetve egyfázisú gőzzárvány-együtteseket, valamint egy vagy több olyan együttest, amelyben változó L:V arányú zárványok fordulnak elő. Ezen együttes létrejöttének egyik lehetséges oka az lehet, hogy a zárványok a bezáródáskor a rendszer heterogén (LV szételegyedés) állapotát rögzítették.

Fluid Inclusion Trapping, Fluid Inclusion Formation — fluidumzárvány-bezáródás, fluidumzárvány-képződés
A bezáródás alatt azt a folyamatot értjük, amely során a fluidumzárványok csapdázódnak az őket bezáró ásványban; ez egyúttal arra a pillanatra is utal, amikor a zárvány elkülönül attól a kiindulási szülőfluidumtól, amelyből egy kis részt magába zárt. Ennek jelentősége abban rejlik, hogy a bezáródást megelőzően a fluidum tulajdonságait a földtani környezet függetlenül változó *p-T-X* paraméterei határozták meg. A bezáródást követően a fluidumzárvány belső tulajdonságait/fázisösszetételét kizárólag a földtani környezet vagy a hűthető-fűthető asztal hőmérséklete befolyásolja, míg a kiindulási teljes móltérfogat és teljes összetétel rendszerint változatlan marad.

Furnace Technique — kemencetechnika
Többfázisú olvadékzárványoknál használt módszer elsősorban a zárványok homogenizálása céljából, de különböző hőmérsékletekre melegített zárványokat vizsgálva a zárványok eltérő kristályossági fokú állapotai is tanulmányozhatók. Platina- (vagy platina- és grafit-) tégelybe helyezett szeparált ásványszemcséket, vizuális kontrol nélkül, nagy hőmérsékletű elektromos kemencében meghatározott hőmérsékletértékekig melegítenek (az ásvány oxidációjának elkerülése érdekében) argon környezetben. Adott várakozási idő elteltével a tégelyt hirtelen lehűtve az addig képződött olvadék kőzetüveggé szilárdul, lehetőséget adva a későbbi kémiai elemzéseknek.

Gas — gáz
Az angol szóhasználat szerint azokat az anyagokat nevezik gáznak, amelyek standard laboratóriumi körülmények között halmazállapotukat tekintve légneműek (gaseous). A magyarban azokat a légnemű anyagokat nevezzük gáznak, amelyek az adott körülmények között szuperkritikus állapotban (SCF) vannak. Pl. légköri nyomáson 120 °C hőmérsékletű vizet (T_c = 374 °C) gőznek, míg hasonló körülmények között a szén-dioxidot (T_c = 31 °C) gáznak nevezzük. Vö.: *Vapour — gőz.*

Gas-Hydrate Clathrate — gázhidrát-klatrát
Nevezik egyszerűen gáz-hidrátnak (gas-hydrate) és klatrátnak (clathrate) is. A gázhidrát-klatrátok a víz- és gázmolekulákból álló, nemsztöchiometrikus kristályos képződmények. A vízmolekulák hidrogénkötések révén felépülő vázat formáznak (ebből ered az üreges vázszerkezetre utaló „klatrát" kifejezés) és ennek üregeiben helyezkednek el a gázmolekulák. Az „egyszerű klatrátok" egyféle gáz molekuláit tartalmazzák (pl. $CH_4 \times 7{,}4H_2O$ – a vízmolekulák mennyisége ebben az esetben *p* és *T* függvényében változik). Az „összetett klatrátok" olyan szilárd oldatok, amelyek többféle gázfajtát tartalmaznak (pl. CH_4–CO_2-klatrát). A klatrátok magas nyomáson és alacsony hőmérsékleten stabilak. A gáztartalmú zárványokat néhányszor 10 fokkal 0 °C alá kell hűteni annak érdekében, hogy a klatrátkristályosodás bekövetkezzen. A klatrát végső olvadási (vagy disszociációs) hőmérséklete, T_m(Cla), a gáznyomás (p_{gas}), a gázösszetétel és a vizes fázis sótar-

talmának függvénye. Következésképpen amennyiben a többi változó ismert, a T_m(Cla) érték felhasználásával meghatározható a fluidumzárvány sótartalma.

Generation → *Fluid Inclusion Generation — fluidumzárvány-generáció*

Heating-Freezing Stage — fűthető-hűthető tárgyasztal

Mikroszkóp tárgyasztalára szerelhető eszköz, melynek segítségével – típustól függően – a mintában –190-től 600 °C, illetve 25–1650 °C hőmérsékleti tartományokban lejátszódó fázisátalakulások vizsgálhatók. A fűthető-hűthető asztalok egy része konvekciós (USGS), míg másik részük kondukciós-konvekciós (Linkam, Chaixmeca) elven működik.

Heterogeneous Entrapent — heterogén bezáródás

Amennyiben a zárvány több fázisú rendszert csapdáz (pl. L + V vagy L + S), heterogén bezáródásról beszélünk.

Heterogeneous State or Process — heterogén állapot vagy folyamat

Olyan állapot vagy folyamat, amikor a rendszert egynél több fázis alkotja. Amennyiben például egy zárvány L és V fázisokat tartalmaz, heterogén állapotúnak tekinthető. Heterogén reakció alatt a reakciók azon típusát értjük, amelyekben több mint egy fázis szerepel, pl. egyensúlyban lévő H_2O(jég) = H_2O(víz).

Homogeneous Entrapment — homogén bezáródás

Fluidumzárvány bezáródása egyfázisú szülőfluidumból (pl. L vagy V).

Homogeneous State or Process — homogén állapot vagy folyamat

Olyan állapot vagy folyamat, amikor a rendszert egy fázis alkotja. Amennyiben például egy zárvány kizárólag egy fázist tartalmaz (pl. L vagy V) homogén állapotúnak tekinthető. Homogén reakció alatt a reakciók azon típusait értjük, amelyek egy fázison belül játszódnak le, pl. a $H_2CO^0_{3(aq)} = HCO^-_{3(aq)} + H^-_{(aq)}$ egyensúly vízben.

Homogenization Pressure (p_h) — homogenizációs nyomás

Az a nyomás, amelyen egy fluidumzárvány – a folyamatos fűtés során – homogén állapotúvá (egyfázisúvá) alakul. A szimbólum használata megegyezik a homogenizációs hőmérsékletre (T_h) vonatkozó irányelvekkel.

Homogenization Temperature (T_h) — homogenizációs hőmérséklet

Az a hőmérséklet, amelyen egy többfázisú (heterogén) fluidumzárvány egyfázisú (homogén) állapotba alakul át. Többfázisú zárványok esetében parciális/részleges homogenizációs hőmérsékletről beszélünk, amennyiben egy fázis homogenizációját követően a zárványban legalább két fázis visszamarad. Teljes homogenizáció alatt azt a folyamatot értjük, amely során az utolsó két fázis homogenizálódik; ezt követően a zárványban csupán egy, homogén fázis lesz jelen. A homogenizáció különböző módokon játszódhat le, ezért a reagáló anyagokat és a képződő termékeket is célszerű feltüntetni a hőmérséklet rögzítésekor.

1. folyadék halmazállapotba történő homogenizáció, a buborékpontgörbe keresztezésével, T_h(LV→L);
2. gőz halmazállapotba történő homogenizáció, a harmatpontgörbe keresztezésével, T_h(LV→V);
3. szuperkritikus állapotba történő homogenizáció a kritikus görbe keresztezésével, T_h(LV→SCF) vagy egyszerűbben Th(critical);
4. folyadék halmazállapotba történő homogenizáció, a likviduszgörbe keresztezésével (olvadás, oldódás), T_h(SL→L) illetve gőz fázisba történő homogenizáció szublimációval, T_h(SV→V).

Egyes gáz (pl. N_2-CO_2) és gázt tartalmazó vizes (pl. CO_2–H_2O± só, illetve CH_4– H_2O±só) fluidumzárványokban a fűtés során kettő vagy több homogenizációs átmenet is megfigyelhető:

1. a nem vizes fázisok részleges homogenizációja alacsony hőmérsékleten, pl. $T_h(L_{CO_2}-L_{aq}V \rightarrow LV)$;
2. a zárvány teljes homogenizációja magas hőmérsékleten, pl. $T_h(LV \rightarrow L)$. Amennyiben a reagáló anyagokat és a képződő termékeket a szerző már ismertette, úgy cikkekben, tanulmányokban a folyamatok rövidítve is jelölhetők, pl. Th (feltéve, hogy egyértelmű, hogy ez mely fázisok homogenizációjára utal), T_h(partial), $T_h(CO_2)$, $T_h(CH_4)$, illetve T_h(total).

Host Mineral, Host Crystal — bezáró ásvány, kristály

Az adott fluidumzárványt magába záró ásvány.

Immiscible/Immiscibility — nem elegyedő/nem elegyedés

Egy adott rendszer azon állapota, amikor két, egymással egyensúlyban lévő, azonos halmazállapotú oldatfázist határfelület választ el, ahelyett hogy egy fázist alkotnának. A folyékony CO_2 és a víz (szerkezetileg mindkettő fluidum) például standard laboratóriumi körülmények között nem elegyednek tökéletesen, ezért nem elegyedő fázisoknak tekinthetőek. Magas T és p körülmények között, azonban bármilyen mértékben képesek egymásban oldódni, azaz elegyedő fázisokká válnak. Hasonlóképpen a halit (NaCl) és a szilvin (KCl), amelyek hasonló szerkezetű vegyületek, nem elegyedő fázisokat alkotnak laboratóriumi hőmérsékleten, de korlátlanul elegyednek nagyon nagy hőmérsékleten. Figyelembe kell venni, hogy az „immiscibility" fogalom időben és térben állandó állapotra és nem folyamatra utal (ezért nem szételegyedés, mert az folyamat, vö. *Exsolution — szételegyedés*). Szintén fontos megjegyezni, hogy e szakkifejezést oldatokra vonatkozóan érdemes alkalmazni. Nincs értelme a tiszta vizet és a vízgőzt nem keveredő fázisoknak tekinteni, jóllehet mindkettő fluidum és elkülönülő fázisokként egyensúlyban lehetnek egymással, de a tiszta H_2O rendszerben nem alkotnak összetételükben eltérő oldatokat.

Initial Melting Temperature (T_i) — kezdeti olvadási hőmérséklet

Az a hőmérséklet, amelyen egy szilárd fázist tartalmazó zárványban – az előrehaladó fűtés során – az első olvadéknyomok megfigyelhetők. Gázt tartalmazó zárványokban ez a hőmérséklet nem feltétlenül egyezik meg az eutektikus-, vagy a látszólagos eutektikus hőmérséklettel. Szinonimái: *First Melting Temperature, Incipient Melting Temperature*. Vö. az *Eutectic Temperature — eutektikus hőmérséklettel* és a *Final Melting Temperature — végső olvadási hőmérséklettel*.

Invariant — invariáns

Olyan fázisegyüttes, amelyben a szabadsági fokok száma 0 (pl. SLV a tiszta H_2O rendszerben). L. *Variance — szabadsági fok*.

Isochore — izochor

Egy fázisdiagramon megjelenő olyan pont, vonal, görbe, mező vagy egyéb geometriai forma, amely egy meghatározott teljes móltérfogatra (vagy meghatározott teljes sűrűségre) utal. Azok a fluidumzárványok, amelyek állandó térfogatú rendszerként viselkednek (azaz nem tágulnak és nem zsugorodnak a hűtés vagy fűtés során), meghatározott teljes térfogattal bírnak, így „izochor rendszereknek" tekinthetők. A *p-T* diagramokon az izochorok mindig vonalakként jelennek meg.

Isopleth — izopléta

Egy fázisdiagramon megjelenő pont, vonal, görbe, mező vagy egyéb geometriai forma, amely egy meghatározott teljes kémiai vagy meghatározott fázisösszetételt jelöl. Azok a fluidumzárványok, amelyek zárt rendszerként viselkednek (azaz sem hűtéskor, sem fűtéskor nem szivárognak), meghatározott teljes összetétellel bírnak és emiatt „izopletikus rendszernek" tekinthetők. Gyakran teljes *p-T* fázisdiagramokat szerkesztenek egy adott izoplétához.

Iso-T_h Lines — izo-T_h vonalak

Fázisdiagramokon az azonos homogenizációs hőmérsékletű zárványok képződési körülményeit ($p_{trapping}$ és $T_{trapping}$) összekötő vonalak. Az izo-T_h vonalak jóllehet hasonlítanak az izochorokhoz, azoktól abban különböznek, hogy számolnak a bezáró ásvány expanziójának hatásával. Az izo-T_h vonalakat gyakran a mesterséges fluidumzárványokkal folytatott kísérletek eredményeinek összegzésekor használják, amikor a móltérfogat nem határozható meg, de a homogenizációs hőmérséklet ismert.

L: *→ Liquid — folyadék vagy folyékony halmazállapotú anyag*

LA-ICP-MS (laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry) — lézerablációs induktív csatolású plazma-tömegspektroszkópia

Fő- és nyomelem, valamint izotópösszetétel meghatározására alkalmas roncsolásos (destruktív) analitikai módszer. A minta felületét fókuszált lézersugár segítségével apró (0–0,1 μm) részecskékre szakítják (abláció), majd ezeket a plazmába vezetve ionizálják, a keletkező ionok pedig tömegspektrométer segítségével tömeg/töltés arányuk szerint szétválaszthatók. A módszer egyidejűleg alkalmas a periódusos rendszer legtöbb elemének kimutatására, nagy a térbeli felbontása (akár 10 μm alatti); a geológiailag érdekes nyomelemek legtöbbjére 1 ppm alatti kimutatási határ érhető el. Leggyakrabban homogén olvadékzárványok nyomelem-összetételének és izotóparányainak meghatározására használják, de a legújabb fejlesztések már lehetővé teszik fluidumzárványok vizsgálatát, illetve többfázisú olvadékzárványok teljes összetételének mérését is.

Liquid (L) — folyadék

Folyadékon olyan fluidumot értünk, amely vagy egy kisebb sűrűségű gőzfázissal van egyensúlyban, vagy a folyadék + gőz egyensúlyi görbe feletti nyomáson tartózkodik.

LV Envelope — LV tartomány/burkológörbe

A folyadék + gőz p-T-V_m stabilitási mezejét a folyamatos LV burkológörbe határolja, melyet a kritikus pont, valamint a harmatpont- és buborékpontgörbék alkotnak.

Melt Inclusion — olvadékzárvány

Egy korábbi olvadt fázis (magmás olvadék), ami legalább részben kristályos vagy amorf szilárd anyagba záródott. A szilikátolvadékok maradványai normál laboratóriumi körülmények között szilárd kőzetüvegként vagy finom kristályos halmazként fordulnak elő. Egyes olvadékzárványok gőzbuborékot, sőt folyadékfázist (pl. CO_2) is tartalmaznak szobahőmérsékleten.

Melting Temperature — olvadási hőmérséklet

A fluidumzárványokkal foglalkozó tanulmányokban olvadási hőmérsékletről három esetben beszélünk: 1. *Eutectic Temperature* (T_e) *— eutektikus hőmérséklet, Initial Melting Temperature* (T_i) *— kezdeti olvadási hőmérséklet* és *Final Melting Temperature* (T_m) *— végső olvadási hőmérséklet.*

Metastability — metastabilitás

Termodinamikai értelemben a metastabilitás alatt egy rendszer azon állapotát értjük, amelynek Gibbs-szabadenergiája nagyobb az adott (pl. T-V_m-X) körülmények között elérhető minimális értéknél. Fluidumzárványok esetében ez azt jelenti, hogy a megfigyelttől eltérő fázisegyüttesnek kellene megjelennie. A fűtés során 0 °C hőmérséklet feletti jég pl. metastabil állapotra utal. Ezen a hőmérsékleten a stabil fázisegyüttesnek jég helyett vizet kellene tartalmaznia. Egyes szerzők a metastabil fázisátmenetet csillaggal jelölik, pl. T_{m^*}(SLV→LV).

Micro Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)— Fourier-transzformációs infravörös-mikrospektroszkópia

Egy mikroszkóppal kombinált infravörös-spektroszkóp, amely megfelelő (az infravörös sugárzás számára átjárható) bezáró ásvány esetén információval szolgálhat a bezárt fluidum összetételéről. Mivel e roncsolásmentes módszer alkalmazhatóságát a fluoreszcencia nem korlátozza, a Raman spektroszkópiát kiegészítő eszközként használható. Alkalmazhatóságának korlátot szab, hogy

a) a mikro-Raman-spektrometriával ellentétben nem fókuszálható 15–20 μm-nél kisebb pontra,

b) a módszer elvéből és a készülék felépítéséből adódóan csupán egy adott mintavastagságig használható,

c) az egyes ásványok különböző mértékben hatolhatók át az infravörös sugárzás számára,

d) a vizsgált fluidumzárványt bezáró ásvány infravörös spektruma esetenként elfedi egyes fluidumok karakteres infravörös elnyelési tartományait.

Microthermometry — mikrotermometria

Olyan módszer, amellyel a fluidum- és olvadékzárványokban a hűtés-fűtés során lejátszódó fázisátalakulások hőmérséklete meghatározható. A fázisátalakulások optikai meghatározása nagy nagyítású és nagy munkatávolságú objektívvel ellátott mikroszkóppal történik. A mikrotermometriai mérések során leggyakrabban alkalmazott eszköz a „fűthető-hűthető tárgyasztal" (→ *Heating-Freezing Stage*).

Molar Volume (V_m) — móltérfogat

Egy mólnyi *i* anyag (amely lehet tiszta vagy elegyfázis, a fluidumzárvány egy része vagy annak egésze) által elfoglalt térfogat, rendszerint cm³/mól mértékegységben fejezzük ki. Így például a V_m(CO_2 gőz) egy fluidumzárvány gőz állapotú CO_2-fázisának móltérfogatát jelöli, míg a $V_{m\,total}$ a teljes fluidumzárvány móltérfogatára utal. A parciális móltérfogat (V_m, *i*) alatt az adott oldat *i* vegyületének egy mólja által elfoglalt térfogatot értjük. A $V^{Laq}_{m,\,CO_2}$ kifejezés például a vízben oldott CO_2 parciális móltérfogatát jelenti. A móltérfogat arányos a sűrűség (ρ_i) reciprokával, mértékegysége g/cm³. A móltérfogat így $V_m = M_i/\rho_i$ -nek adódik, ahol M_i az *i* vegyület móltömege.

Mole Fraction — móltört

Az *i* vegyület mennyisége egy fázisban, egy teljes fluidumzárványban vagy egy rendszerben. Definíció szerint $X_i = n_i/(n_i+\Sigma_j n_j)$, ahol *n* a mólok számát, *j* az *i*-től eltérő vegyületeket, míg a nevező a szóban forgó fázis, fluidumzárvány vagy rendszer móljainak összegét jelenti. Az X_i mértékegység nélküli (mól/mól), értéke $0 \leq X_i \leq 1$ között változik. A felső index nélküli X_i szimbólum rendszerint az i vegyület hányadára utal a teljes rendszerben. Míg az $X^{Laq}_{CO_2}$ kifejezés egy adott oldatban (jelen esetben folyékony vízben), addig a $X^{total}_{CO_2}$ a teljes fluidumzárványban adja meg a CO_2 móltörtjét. Esetenként kényelmes az adott *i* vegyületet fázisként definiálni. Így X^{total}_{Laq} kifejezés a folyékony víz fázis móltörtjét mutatja a teljes zárványban. Az alsó index nélküli *X* és *x* szimbólumok bármilyen összetételbeli változót jelölhetnek. Pl. „a sűrűség a *T* és *X* függvényében változik" azt jelenti, hogy a sűrűség a hőmérséklet és az összetétel függvényében változik.

Necking, Necking Down — lefűződés

Bezáródást követő folyamat, amely során a nagy, szabálytalan alakú zárványok a morfológiai egyensúlyt (a felületi szabadenergia minimalizálását) igyekeznek elérni, amit úgy valósítanak meg, hogy kisebb, szabályosabb alakú zárványokká darabolódnak. E folyamat során a zárvány alakja rendszerint „nyakszerű" képletet formálva átalakul, míg az üreg falainak egyenetlenségei elmosódnak, eltűnnek. A folyamat során a bezáró ásvány oldódása és újbóli kiválása játszódik le. Minden másodlagos zárvány, amely repedés behegedése révén alakul ki, lefűződés útján szigetelődik el. Amennyiben ez az egyfázisú *p-T-X* mezőben játszódik le, a

folyamat nem módosítja a homogén módon bezáródott fluidum eredeti móltérfogatát. Azonban, ha a lenyakazódás a többfázisú *p-T-X* mezőben következik be, úgy a képződő fluidumzárvány-együttesek tagjain belül a fázisok egyenlőtlenül oszlanak meg (azaz szobahőmérsékleten a fázisok térfogatarányai (*Volume Fraction*, ϕ) eltérőek lesznek). Ennélfogva az egyes zárványok V_m-*X* értékei nem reprezentálják az eredetileg bezáródott pórus fluidum tulajdonságait. A többfázisú *p-T-X* mezőben lefűződésen átesett zárványegyüttes könnyen összetéveszthető a heterogén bezáródás révén kialakult együttessel. Lásd ROEDDER 1984, GOLDSTEIN 2003.

Nucleation Temperature (T_n) — nukleációs hőmérséklet

Az a hőmérséklet, amelyen egy adott fázis először jelenik meg a hűtés során. Például az a hőmérséklet, amelyen egy homogén fluidumzárványban a hűtés során megjelenik egy gőzbuborék [T_n(L→LV) vagy egyszerűen T_n(Vapor)]. Hasonlóképpen – hűtés során – a jég kristályosodásának kezdete (a jég nukleációs hőmérséklete) [T_n(LV→IceLV) vagy egyszerűen T_n(Ice)]. Újabb fázisok a fűtés során is megjelenhetnek, pl. T_n(SV→SLV). A geokémia és a fizikai kémia egyes ágaiban különbséget tesznek egy adott fázis nukleuszainak képződési, illetve a stabil nukleusz növekedés hőmérséklete között. A legtöbb fluidumzárványokkal foglalkozó munkában e megkülönböztetés szükségtelen.

$p_{critical}$ — $p_{kritikus}$

Egy adott teljes kémiai összetételhez tartozó kritikus pont nyomása.

p_d: Decrepitation Pressure — dekrepitációs nyomás (a dekrepitációs hőmérséklet analógiájára).

p_h: → *Homogenization Pressure — homogenizációs nyomás*

Partial Homogenization Temperature — részleges homogenizációs hőmérséklet → *Homogenization Temperature — homogenizációs hőmérséklet*

Phase — fázis

Egy rendszer fizikai és kémiai tulajdonságait tekintve homogén, határfelülettel elkülöníthető része, ahol a határfelületek két oldalán a fizikai és/vagy kémiai paraméterek ugrásszerűen megváltoznak. A fázisok bármilyen halmazállapotúak lehetnek [szilárd (S), folyékony (L), légnemű (V) vagy szuperkritikus (SCF) állapotú].

Phase Assemblage — fázisegyüttes

Az egyensúlyban lévő fázisok csoportja adott teljes kémiai összetételű rendszerben vagy zárványban. A kétfázisú LV együttes például gyakori szobahőmérsékletű fluidumzárványokban. A fluidumzárványok – a hőmérséklet függvényében – rendszerint más-más fázisegyüttest tartalmaznak. Az egyik fázisegyüttesből egy másikba történő átalakulást a fázisátmenetek jelölik ki.

Phase Ratios — fázis arányok → *Volume Fraction — térfogatarány. Jele: φ*

Phase Rule, Gibbs Phase Rule — fázistörvény, Gibbs-féle fázistörvény

Egy rendszer szabadsági fokainak (*Sz*) (variance, *v*) száma az alábbi szabály alapján adható meg: $Sz = K + 2 - F$ ($v = c + 2 - p$), ahol *K* a komponensek (component, *c*) száma, a 2 egy adott összetételű rendszer állapotának meghatározásához szükséges két független állapotváltozót jelöli (pl. *T* és *p* vagy *T* és V_m), míg *F* (phase, *p*) az egyensúlyi fázisegyüttesben jelen lévő fázisok számát jelöli. Egy kétkomponensű rendszerben például, melyben egyensúlyi helyzetben három fázis figyelhető meg, $v = 2 + 2 - 3 = 1$, azaz a fázisegyüttes monovariáns. Így pl. egy

CO_2–H_2O vagy H_2O–NaCl fluidumzárványban a jég + gőz/gáz + víz fázisegyüttes monovariáns, azaz egy adott hőmérséklettartományon belül stabil. Ezzel szemben az egykomponensű H_2O-rendszerben a fázistörvény szerint ugyanez a fázisegyüttes invariáns, azaz kizárólag egy adott hőmérsékleten figyelhető meg.

Pore Fluid — pórusfluidum

A jelen szószedetben – a szokásostól eltérően – pórusfluidumnak nevezünk minden (szabad) fluidumot a zárványba történő csapdázódást megelőzően. A pórusfluidum megjelenhet (és csapdázódhat) szemcsehatár mentén, elszigetelt pórusokban, repedésekben vagy nagyméretű fluidumtestként (pl. a tengervíz csapdázódása ásvány-tengervíz határfelület mentén).

Post-Entrapment Modifications — bezáródást követő módosulások/változások

A fluidumzárványokban – bezáródásukat követően – bekövetkező minden olyan változás, amely az eredeti összetételt, a kémiai összetevőket, a móltérfogatot vagy a morfológiát módosítja. E változásokat okozhatják természetes (pl. diffúzió által bekövetkező anyagveszteség, a fluidumzárvány és környezete között fennálló nagy nyomáskülönbség révén bekövetkező változás a morfológiában és a móltérfogatban stb.), illetve mesterséges folyamatok (pl. a mikrotermometriai vizsgálat során bekövetkező, túlfűtés okozta tágulás, stb.). E változásokat gyakran a *„reequilibration"* szakkifejezéssel jelölik, jóllehet az egyensúly nem mindig teljesül a bezáródást követő *p-T-X* körülményekre.

Primary Inclusion — elsődleges zárvány

A bezáró ásvány (pl. hidrotermás fluidumból történő) kiválásával egy időben bezáródó fluidumzárvány. A krisztallográfiailag meghatározott növekedési zónák mentén elhelyezkedő elsődleges zárványok a bezáró ásvány szülőfluidumát őrzik vagy a bezáró ásvány kiválásakor azzal egyensúlyban volt fluidumot reprezentálják. Megjegyzendő, hogy az „elsődleges" jelző csupán a zárvány – a bezáró ásványhoz viszonyított – viszonylagos korára utal; a zárványt tartalmazó kőzet képződési kora általában nem azonos a bezáró ásvány korával.

Process — folyamat

Termodinamikai értelemben folyamat alatt olyan átalakulást értünk, amikor egy termodinamikai állapot egy másik állapotba megy át (dinamikus). A fázisdiagramokon a folyamatok irányát jelző utat nyilakkal jelöljük. Vö. *State — állapot.*

Pseudosecondary Inclusion — pszeudoszekunder/álmásodlagos zárvány

A kristály növekedése során behegedt repedésben befogott zárvány. Olyan fluidumzárvány, amely a bezáró kristály kezdeti növekedésének befejeződését követően záródott be – rendszerint behegedt repedések mentén – de a kristály végleges kiválását megelőzően. Mindezek eredményeként az álmásodlagos zárványokat befoglaló behegedt repedés a bezáró kristály egy adott növekedési zónájánál végződik. Az álmásodlagos zárványok – az elsődlegesekhez hasonlóan – a behegedt repedés által kijelölt időhorizont idejében kivált bezáró ásvány szülőfluidumát őrzik. A „pseudo" prefix arra utal, hogy e zárványok megjelenésükben másodlagos zárványoknak tűnnek, de az elsődleges zárványokhoz hasonló (azaz az ásványkiválás egy adott szakaszára vonatkozó) információkat képesek szolgáltatni.

Quadrople Point — négyespont

A *p-T* tér azon invariáns pontja, amelyben 4 fázis egyensúlyban van egymással, pl. biner rendszerben a S_1S_2LV fázisegyüttes.

Quintuple Point — ötöspont

A *p-T* tér azon invariáns pontja, amelyben 5 fázis egyensúlyban van egymással, pl. terner rendszerben a $S_1S_2S_3LV$ fázisegyüttes.

R → *Volume Fraction — térfogatarány*

Raman Microprobe — Raman-mikroszonda

A Raman-szóródás elvén működő, roncsolásmentes analitikai eszköz, amely egy konfokális felépítésű, optikai mikroszkóphoz csatlakoztatva akár 1–2 μm átmérőjű pontból képes információt szolgáltatni. Előnye, hogy szilárd anyagok (pl. ásványok) előkészítés nélkül vizsgálhatók. A mérés során monokromatikus gerjesztő (lézer-) sugárzás fotonjainak – a vizsgált vegyület molekuláin bekövetkező – nemelasztikus (Raman-) szóródás hatására bekövetkező energiaváltozását detektálják. Az energiaváltozás mértéke információval szolgál a vizsgált anyag molekuláinak rezgési típusairól, egyúttal következtetni lehet a vizsgált vegyület típusára. A konfokális felépítésű készülék további előnye, hogy képes egy adott anyag (pl. vastagcsiszolat) belsejéből is információt gyűjteni, azaz alkalmas például különböző mélységben elhelyezkedő fluidumzárványok összetételének vizsgálatára. Alkalmazhatóságának korlátot szab, hogy a) a vizsgált fluidumban és/vagy bezáró ásványban jelentkező fluoreszcencia – nagyságrendekkel nagyobb intenzitásából kifolyólag – elnyomja a Raman-szóródásból eredő jelet, b) az ionrácsos vegyületek (pl. kloridok) közvetlen vizsgálatára nem alkalmas.

Reequilibration → *Post-Entrapment Modifications — bezáródást követő módosulások/változások*

S: Solid — szilárd halmazállapotú anyag

Salinity — sótartalom

Egy vizes oldatban előforduló oldott anyagok mennyisége, beleértve mind az ionos- (pl. NaCl, $CaCl_2$), mind a nemionos típusú (pl. CO_2, H_2S) elegyrészeket. Többkomponensű fluidumzárványok esetében az oldat koncentrációja gyakran nem ismert, de a teljes szalinitásra érzékeny fázisátmenetek mérhetők [pl. T_m(Ice), T_m(Hydrohalite), T_m(Halite), T_m(Clathrate)]. Ilyen esetekben a szalinitást NaCl- (vagy $CaCl_2$-) egyenértékben szokás megadni (pl. „*w*NaCl equiv. = 10%" azt jelöli, hogy a zárványban lejátszódó fázisátalakulások megegyeznek egy 10 tömeg%-os NaCl-oldatban lejátszódó átmenetekkel). Az ekvivalens tömegfrakció (jele: „equiv. wt%") a fentivel azonos jelentésű, annak alternatívájaként használt, nem SI-rendszerű mértékegység. A tömeg jellegű mértékegységeken kívül a szalinitás móltörtként is kifejezhető, pl. $X_{NaCl equiv.}$ = 3,3%, vagy molalitással, pl. $m_{NaCl equiv.}$ = 1,9.

SCF → *Supercritical Fluid — szuperkritikus fluidum*

Secondary Inclusion — másodlagos zárvány

A ásvány kiválását követően bezáródott fluidumzárvány. E zárványok jellegzetessége, hogy behegedt repedések mentén helyezkednek el, és metszik a bezáró ásvány határát. A másodlagos zárványok a bezáró ásvány kiválását követően – esetleg évmilliókkal később – a rendszerben jelen volt fluidumot csapdázták. A repedésbehegedést jelen értelmezés szerint nem soroljuk a „kristálynövekedés/ásványkiválás" folyamatához.

SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) — szekunderion-tömegspektrometria

Szilárd fázisok kémiai összetételének meghatározására alkalmas analitikai módszer. Elsősorban homogenizált és feltárt olvadékzárványok nyomelemeinek meghatározására használják. A mérés során egy szilárdtest felületét 1–10 keV energiájú, fókuszált nehéz részecskékkel (általában oxigén-, cézium- vagy argonionokkal) bombázva, a felületből pozitív és negatív töltésű ionok és ioncsoportok (illetve töltéssel nem rendelkező atomok) lépnek ki. A kilépő szekunder ionok – tömeg/ töltés arányuk szerint – tömegspektrométer segítségével szétválaszthatók. Az ionsugár roncsoló hatása folytán a módszer információt szolgáltat a minta felszín alatti kémiai összetételéről is. A minta felszínének letapogatásával lehetőség nyílik a felszínt alkotó egyes elemek/molekulák eloszlásának meghatározására is. A SIMS módszer

alkalmazási területei: a felszíni/felszín közeli kémiai összetétel nagy érzékenységű vizsgálata (beleértve a könnyű elemeket is); izotópösszetétel meghatározása; képalkotás; gyors mélységprofilkészítés (3–15 nm felbontás) stb.

Spindle Stage — orsós tárgyasztal
Olyan kéttengelyű, forgatható tárgyasztal, amelynek segítségével a vizsgált objektum (pl. ásvány, fluidumzárványok) térbeli tulajdonságai vizsgálhatók. Különös jelentősége lehet a fluidumzárvány-együttesek egymáshoz, ill. a bezáró ásvány növekedési zónáihoz való viszonyának tisztázásakor. Lásd ANDERSON & BODNAR 1993.

Stable — stabil
Termodinamikai értelemben a „stabil" kifejezés olyan állapotra utal, amikor az adott feltételek (pl. *T, V, X*) mellett minimális a rendszer Gibbs-szabadenergiája. Más szóval egy fluidumzárványban megfigyelhető fázisegyüttes, első megközelítésben, megegyezik az adott fázisdiagram megfelelő stabil egyensúlyi fázisegyüttesével. Vö. *Metastability — metastabilitás.*

State — állapot
Termodinamikai értelemben „állapot" alatt olyan helyzetet értünk, amikor a rendszer tulajdonságai a meghatározott *p, T, V, X* paraméterek révén rögzítettek. Egy fázisdiagramon az állapotnak egy pont felel meg. Vö. *Process — folyamat.*

Stretched Liquid — feszített folyadék
Olyan metastabil állapotú folyadék, amely nagyobb térfogatú, mint amekkora térfogatot stabil egyensúlyi körülmények között elfoglalna. Folyadékot csapdázott zárványok például feszített folyadékként viselkednek a hűlés során azt megelőzően, hogy a $T_n(V)$ hőmérsékleten a gőzbuborék megjelenik bennük.

Stretching — tágulás
A fluidumzárvány üregének olyan irreverzíbilis tágulása, amelyet vagy a fluidum fűtés során bekövetkező térfogatnövekedése, vagy a hűtés során kristályosodó jég okoz. A szakkifejezés nem utal speciális deformációs mechanizmus működésére, illetve kémiai alkotók távozására. Vö. *Decrepitation — dekrepitáció.*

Sublimation — szublimáció
Azon folyamat, amely során egy szilárd anyag közvetlenül gőzfázisba alakul át, a közbülső folyékony halmazállapotba történő átalakulás nélkül. Egyes szerzők az ellentétes irányú folyamat – azaz a gőz halmazállapotból történő közvetlen kristályosodás – megnevezésére is ezt a szakkifejezést alkalmazzák, habár helyesebb a kondenzáció kifejezés használata ezen esetekben. A szublimáció a fluidumzárványok egyik lehetséges homogenizációs mechanizmusa, SV→V.

Supercritical Fluid (SCF) — szuperkritikus fluidum
Egy adott fluidum szuperkritikus állapotú, ha olyan nyomás és hőmérséklet körülmények közé kerül, amelyek nagyobbak, mint a rá jellemző kritikus pont *p-T* értékei. A kritikus pontban szerkezeti folytonosság áll fenn a folyadék, a gőz és a szuperkritikus fluidum között, azaz e halmazállapotok átmenetei között nem húzható éles határ. A $p_{critical}$ ($p_{kritikus}$) feletti nyomáson a folyadék és a szuperkritikus fluidum fizikai tulajdonságai hasonlóvá válnak. Hasonlóképpen nem húzódik fázishatár a gőz és a szuperkritikus fluidum között sem. A diszkontinuitás csupán az egyes fluidumtípusok elnevezésében él. Nagy nyomáson és közepes hőmérsékleten a szuperkritikus fluidumot gyakran „folyadékszerű sűrűséggel bíró fluidumnak" szokták nevezni. Hasonlóképpen csupán szemantikai különbség létezik a kritikus hőmérséklet felett a gáz és a szuperkritikus fluidum között.

Synthetic Fluid Inclusion — mesterséges fluidumzárvány

Olyan fluidumzárványok, amelyeket egy kísérleti eszközben (pl. autoklávban), mesterségesen állítanak elő. A zárványokat rendszerint rögzített p, T körülmények és fluidumösszetétel mellett, – általában a folyamat időtartamának csökkentése érdekében – felgyorsított ásványkiválás vagy repedések behegesztése révén kristályokba zárják. Mivel a szintetikus zárványok összetétele és belső tulajdonságai tetszőlegesen megválaszthatók, így kiválóan használhatók a természetes fluidumzárványokra kidolgozott analitikai módszerek standardjaiként.

System — rendszer

A fluidumzárványokkal foglalkozó tanulmányokban a „rendszer" szakkifejezés általában termodinamikai értelemben használatos, azaz a modelltér azon része, amely releváns az adott probléma szempontjából (pl. egy adott modell-fluidumzárvány, a modell-fluidumzárványok együttese, egy modell-kőzetminta, egy modell hidrotermás ér, egy modellföldkéreg, stb.). Mivel ezek absztrakt modellek, a rendszer paramétereit úgy célszerű megválasztani, hogy azok megfelelők legyenek az adott vizsgált problémakör szempontjából. Egy rendszer tehát meghatározható egy adott összetétellel (pl. 10 mól% CH_4 és 90 mól% H_2O) vagy a komponenseivel (pl. CH_4 és H_2O). Egy rendszer jellemzésének egyik módja komponenseinek – csökkenő illékonyság szerinti – felsorolása (pl. CH_4–CO_2–H_2O–NaCl). A rendszer határainak meghatározása szintén az adott problémának megfelelően történik (pl. nyílt, zárt, izobár stb.). Azon fluidumzárványok, amelyek a környezetükkel termális egyensúlyban vannak, illetve állandó térfogattal és összetétellel bírnak, „diatermális, állandó térfogatú (izochoric) és összetételű (isoplethic)" modellrendszernek tekinthetők.

$T_{critical}$ — $T_{kritikus}$

Egy meghatározott teljes kémiai összetétellel bíró rendszer, vagy egy fluidumzárvány kritikus pontjának hőmérséklete.

T_d → *Decrepitation Temperature — felnyílási/dekrepitációs hőmérséklet*

T_e → *Eutectic Temperature — eutektikus hőmérséklet*

T_f → T_m és T_t.

T_h → *Homogenization Temperature — homogenizációs hőmérséklet*

T_i → *Initial Melting Temperature — kezdeti olvadási hőmérséklet*

T_{lab}: Laboratóriumi vagy szobahőmérséklet

T_m → *Final Melting Temperature — végső olvadási hőmérséklet*

T_n→ *Nucleation Temperature— nukleációs hőmérséklet*

T_t → *Trapping Temperature — bezáródási/képződési hőmérséklet*

T_{triple} — a hármaspont hőmérséklete

Egy meghatározott, teljes kémiai összetétellel bíró rendszer vagy egy fluidumzárvány hármaspontjának hőmérséklete.

Total — teljes

A bulk (teljes) szakkifejezés szinonimájaként használatos. A fluidumzárvány egészének tulajdonságaira utal.

Total Homogenization — teljes homogenizáció → *Homogenization Temperature — homogenizációs hőmérséklet*

Trapped Minerals, Trapped Phases — csapdázott ásványok, fázisok
A „véletlenszerűen bezáródott ásványok" szinonimájaként használatos, → *Captured Phases, Captured Minearals.*

Trapping → *Fluid Inclusion Trapping — fluidumzárvány-csapdázódás*

Trapping Temperature (T_t) — bezáródási/képződési hőmérséklet
A fluidumzárvány bezáródásának (képződésének) hőmérséklete. Egyes angol nyelvű publikációkban a képződési hőmérsékletet T_f szimbólummal jelölik, ami félrevezető, ugyanis egyes szerzők ezzel a fúziós hőmérsékletet jelölik.

Triple Element, Triple Point, Triple Curve stb. — hármaselem, -pont, -görbe
Egy fázisdiagram olyan geometriai eleme (pl. egy pont a *p-T* mezőben), amelyen az adott háromfázisú együttes stabil, pl. a tiszta H_2O-rendszerben a háromfázisú (jég + víz + vízgőz) együttes kizárólag egyetlen *p-T* pontban, a „hármaspontban" stabil. Ezzel szemben CO_2–H_2O rendszerben a folyékony víz + folyékony szén-dioxid + gőz háromfázisú együttes a *p-T* mezőben egy univariáns „hármasgörbe" mentén stabil.

Trivariant — trivariáns
Olyan fázisegyüttes, amelyben a szabadsági fokok száma három, pl. folyékony víz a bináris CO_2–H_2O-rendszerben.

Univariant — monovariáns
Olyan fázisegyüttes, amelyben a szabadsági fokok száma 1, pl. a folyadék-gőz együttes a tiszta H_2O-rendszerben.

Unmixing → *Exsolution — szételegyedés*

V→ *Vapour — gőz*

***V*: Volume — térfogat**
mértékegysége pl. cm^3

V_m: → *Molar Volume — móltérfogat*

Vapor (*V*) — gőz
Jóllehet az angol nyelvben gyakran a „gas" kifejezés szinonimájaként használják, szűkebb értelemben gőznek azt a fluidumot tekintjük, amely a forráspontja alatt egyensúlyban van egy – anyagát tekintve azonos – nagyobb sűrűségű folyadék- (vagy szilárd) fázissal, illetve egy meghatározott teljes kémiai összetétellel bíró rendszer folyadék-gőz egyensúlyi görbéje alatti nyomáson van. Az amerikai helyesírás szerint vapor szót a britek vapourként írják. Az angol nyelvben a „gas" (gáz) szinonimája. Vö.: *gas — gáz.*

Variance — szabadsági fok
Egy rendszer azon paramétereinek (*p, T,* V_m) száma, amelyek függetlenül változtathatók anélkül, hogy az adott fázisegyüttes fázisainak száma megváltozna. Pl. egy kizárólag H_2O-t tartalmazó zárványban, amely szobahőmérsékleten folyadék- és gőzfázisokat tartalmaz, a hőmérséklet növelésével a fázisok száma nem változik, noha azok egymáshoz viszonyított térfogata módosul. Amennyiben azonban a hőmérséklet növekszik, a nyomást pedig – a zárvány térfogatának képzeletbeli növelésével – csökkentjük, úgy a folyadékfázis eltűnik. Követ-

kezésképpen a tiszta H_2O-rendszerben a folyadék-gőz egyensúly monovariáns. A rendszer szabadsági fokainak száma a Gibbs-féle fázistörvény segítségével számolható.

Volume Fraction (φ_α) — térfogatarány

Az φ fázis aránya a teljes fluidumzárványban vagy egy rendszerben. Definíció szerint: $\varphi_\alpha = V_\alpha/(V_\alpha+\Sigma_\beta V_\beta) = V_\alpha/(V_{total})$, ahol V a térfogat (pl. cm^3-ben), a nevező pedig a zárványban előforduló valamennyi fázis térfogatának összege (β a zárványban előforduló, α–n kívüli fázisokat jelöli). φ_α térfogatarányt (*V/V*) jelöl, ezért nincs mértékegysége, értéke 0 és 1 között változhat. Mivel a többfázisú zárványokban a fázisok a hőmérséklet változásával növekednek vagy csökkennek, alapvető fontosságú azon hőmérsékletnek a rögzítése, amelyen a térfogatarány meghatározása történt. Pl. φ_V(25 °C) = 0,40 azt jelöli, hogy a gőzfázis (buborék) 25 °C-on a zárvány térfogatának 40%-át foglalja el. A térfogatarányt az SI-rendszer „φ"-vel vagy „*f*"-fel (fraction) jelöli. A régebbi fluidumzárvány irodalomban többfajta jelölés és definíció is használatos volt, pl. *F* – „degree of fill" („a kitöltöttség mértéke"), ami azt fejezte ki, hogy milyen mértékben tölti ki a folyadék a zárványt, miközben a „gőz" fázist vákuumnak tekinti; F_α – „volume fraction" („térfogatarány") az indexben szereplő fázis „térfogataránya"; R_a – „volume ratio" („térfogathányados") az indexben szereplő fázis „térfogathányadosa".

X_i, x_i → *Mole Fraction* — móltört

Szimbólumok

c: Component
F: Volume Fracture
FIG: Fluid Inclusion Generation
L: Liquid
p: Phase
p_d: Decrepitation Pressure
S: Solid
T_d: Decrepitation Temperature
T_h: Homogenisation Temperature
T_m: Final Melting Temperature
T_t: Trapping Temperature
v: Variance
X_i, x_i: Mole Fraction
φ: Volume fraction

Eq. wt% NaCl: → Salinitiy
FIA: Fluid Inclusion Assemblage
FTIR: Micro Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
LV: LV Envelope
p: Pressure
p_h: Homogenisation Pressure
SCF: Supercritical Fluid
T_e: Eutectic Temperature
T_i: Initial Melting Temperature
T_n: Nucleation Temperature
V: Vapour
V_m: Molar Volume
ρ: Density

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak Larryn W. DIAMONDnak az eredeti szószedet felhasználásának engedélyezéséért, és HETÉNYI Magdolnának hasznos észrevételeiért. A szószedet az OTKA (D45921) posztdoktori ösztöndíj, az ASO Budapest (2005.N.VIII.) és az Osztrák-Magyar Akció Akcióalapítvány (62öu4) támogatásával készült. Köszönjük PAPP Gábornak és MOLNÁR Ferencnek – a cikk jellegéből adódóan alapvető fontosságú – helyesírási, stilisztikai és szemantikai bírálataikat.

Irodalom – References

ANDERSON, A. J., BODNAR, R. J. 1993: An adaptation of the spindle stage for geometric analysis of fluid inclusions. – *American Mineralogist* **78/5–6**, 657–664.

DIAMOND, L. W. 2003: Glossary: Terms and symbols used in fluid inclusion studies. – In: SAMSON, I., ANDERSON, A. & MARSHALL, D. (eds.) Fluid inclusions: Analysis and Interpretation. *Mineral. Assoc. Can., Short Course* Ser. **32**, 365–374.

GOLDSTEIN, R. H. 2003: Petrographic analysis of fluid inclusions. – In: SAMSON, I., ANDERSON, A., & MARSHALL, D. (eds.) Fluid inclusions: Analysis and Interpretation. *Mineral. Assoc. Can., Short Course* Ser. **32**, 9–53.

ROEDDER, E. 1984: Fluid inclusons. – *Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America*, **12**, 644 p.

Kézirat beérkezett: 2006. 03. 16.

Földtani Közlöny 137/1, 103–128. (2007) Budapest

Tanulmányok Erdély földtanából

A Csomád vulkán (Keleti-Kárpátok) horzsaköveinek kőzettani és geokémiai vizsgálata – petrogenetikai következtetések

Petrology and geochemistry of the pumices from the Ciomadul volcano (Eastern Carpathians) – implications for the petrogenetic processes

VINKLER Anna Paula[1, 2] – HARANGI Szabolcs[2*] – Theodoros NTAFLOS[3] – Alexandru SZAKÁCS[4]

(10 ábra, 7 táblázat)

Tárgyszavak: Csomád, horzsakő, geokémia, kőzettan, petrogenezis
Keywords: Ciomadul, pumice, geochemistry, petrology, petrogenesis

Abstract

The last volcanic eruption in the Carpathan–Pannonian region occurred at the Ciomadul volcano, found in the South-eastern Carpathians, close to the Vrancea seismic zone. This eruption occured through in the St. Ana crater approximately 20–30 ka ago following. Before, another explosive eruption which formed the Mohos crater. However, the exact age of this earlier eruption is not known. The explosive eruptive phase followed a relatively long quiescence period after a lava dome building phase. In this work, we present new data on the younger explosive volcanic products. Based on the physical volcanological observations, the volcanic eruptions were characterized by high-temperature pyroclastic flows and surges accompanied by pyroclastic falls. The pumice fall could reach at least 20–30 km from the Ciomadul. A new radiocarbon age (27 ka) revealed that the pumiceous pyroclastic flow deposit at Sepsibükkszad was formed also during the St. Ana eruption phase.

Based on the detailed petrologic and geochemical study of the high-K dacitic pumices, we propose a possible model for the petrogenetic processes. The chemical compositions of the amphiboles and the plagioclases suggest that the crystallization could occur mostly in the deeper part of the crust (10–12 km depth?), at relatively high temperature (>800 °C). In contrast, the Tusnad Bai magma could crystallize at shallower depth (5–6 km?) and lower temperature (<750 °C). This magma was more differentiated compared with the others, however, we exclude genetic relationship via fractional crystallization. We suppose that independent magma batches could reach relatively quickly the surface coming from the deeper part of the crust. The amphibole phenocrysts often enclose high-Mg minerals, such as ferroan enstatites. These minerals could be either mantle-derived xenocrysts or early crystallizing product from a primitive mafic magma (adakitic high-Mg andesite?). The presence of orthopyroxenes as well as clinopyroxenes and olivines in the amphiboles indicates the role of mantle-derived mafic magmas in the genesis of the Ciomadul magmatism. Tentatively, we suggest that these mafic magmas could pond

[1]Babes Bolyai Egyetem, Kolozsvár, str. Kogălniceanu 1, Románia
[2*] kapcsolattartó szerző: ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest 1117, Pázmány Péter sétány 1/C, e-mail: szabolcs.harangi@geology.elte.hu
[3]Institut für Lithosphärforschungen, Universität der Wien, Ausztria
[4]Sapientia Egyetem, Kolozsvár, str. Deva 10, Románia

beneath the thick crust of the Ciomadul area and resulted in melting of the lower crust. The continuous melting, replenishment, mixing and hybridization could lead to a relatively homogeneous dacitic magma that characterized the approximately 1 Ma long Ciomadul volcanism. The relatively young age of the last eruptions and the long quiescence periods between the active phases requires further detailed petrologic and geochemical researches, involving the older lava dome rocks, to have a better understanding on the petrogenetic processes of the Ciomadul volcano as a whole and to evaluate the possibility of resuming volcanism in the future.

Rezumat

Dintre ultimele erupţii vulcanice din regiunea Pannonică–Carpatică care a avut loc 20–30 000 de ani în urmă, se enumeră craterul Sfânta Ana din aparatul vulcanic Ciomadul. Înainte de aceasta tot print-o activitate explosivă s-a format craterul Mohoş, activitate vulcanică despre care nu avem date referitor la vârstă. Activitatea vulcanică explosivă are loc după o perioadă de linişte, care este precedată de formarea domurilor de lavă. În lucrarea de faţă am studiat produsele activităţii mai tinere de tip explosiv, caracterizate prin formarea detritusului din piatra ponce. Prin observaţiile vulcanologice de teren s-au identificat curgeri piroclastice de temperatură înaltă, acumulări piroclastice. Sedimentele acumulate din Munţii Ciomadul au ajuns la zeci de kilometri (de exemplu la: Fehérmartok). Analizele recente de radiocarbon au dovedit că pe lângă piroclastitele din pietra ponce de la Băile Tuşnad, curgerile piroclastite de le Bicsad sunt produsele activităţii vulcanice, de acum 27 000 ani.

Pe baza analizelor petrografice şi geochimice detailate ale dacitelor bogate în K am dedus plauzibile procese magmagenetice. Compoziţia chimică a fenocristalelor de amfibol şi plagioclaz ne sugerează un fenomen de cristalizare la adîncimile mai mari ale scoarţei terestre (10–12km), unde temperaturile cristalizării erau relativ mai ridicate (>800 °C). În opoziţie cu aceasta, magma formaţiunilor vulcanice de la Tuşnad Băi s-a cristalizat la adîncimi mai mici (5–6 km) şi la temperaturi mai scăzute (<750 °C). Magma are un caracter mai diferenţiat, dar relaţia genetică a cristalizării fracţionate cu celelate magme de piatră ponce nu se poate dovedi. Noi presupunem că pe parcursul activităţii vulcanice din Munţii Ciomadului, unităţile magmatice individuale au ajuns relativ repede la suprafaţă ale căror relaţie genetică se poate căuta doar în adăncimi mai mari. În fenocristalele de amfibol sunt frecvente fazele mineralogice cu conţinut ridicat de Mg, în special ferroenstatite. E posibil ca aceste faze mineralogice să provină ori din manta, ca xenocristale, ori sunt produsele timpurii ale diferenţierii unei magme mafice (andezit adachitic bogat în Mg). Aceste faze mineralogice (orto- şi clinopiroxen, olivina) arată că în magmageneza Munţii Ciomadului un rol important aveau magmele mafice de origine mantală. Presupunem că magmele mafice sau oprit imediat sub scoarţă, unde pot porni o topire parţială. Permanente topiri, reîncărcări, amestecări, hibridizări de magme (procese MASH) pot explica împreună că, în dealungul a 1 milion de ani vulcanismul din Munţii Ciomadului, a avut o sursă de magmă chimic omogenă, care a ajuns la suprafaţă.

Összefoglalás

A Kárpát–Pannon térség legutolsó vulkáni kitörése mintegy 20–30 ezer éve történt, kialakítva a Szt. Anna-krátert a Csomád vulkán belsejében. Ezt megelőzően, szintén robbanásos vulkáni kitörés hozta létre a Mohos-krátert; e vulkáni működés korára azonban nincs információ. A robbanásos vulkáni kitörések egy hosszabb nyugalmi időszak után történtek, ezt megelőzően a vulkáni működést lávadómok képződése jellemezte. E munkában a fiatalabb, robbanásos vulkáni működés során képződött horzsaköves vulkáni törmelékes üledékeket vizsgáltuk. A terepi vulkanológiai megfigyelések alapján a vulkáni működés magas hőmérsékletű piroklasztárakat, torlóárakat, piroklasztszórásokat eredményezett. A szórt horzsaköves piroklaszt üledékek a Csomádtól több tíz kilométerre is eljutottak (pl. Fehérmartok). Az új szénizotóp vizsgálat felfedte, hogy a tusnádfürdői horzsaköves piroklasztit mellett a sepsibükkszádi piroklasztár képződmény is feltehetően a Szt. Anna kitörés terméke, ami 27 000 BP éve történt.

A K-gazdag dácit összetételű horzsakövek részletes kőzettani és geokémiai vizsgálata alapján következtettünk a magmagenetikai folyamatokra. Az amfibol és plagioklász fenokristályok kémiai összetétele alapján a kristályosodás fő színtere a földkéreg mélyebb részein lehetett (10–12 km?), ahol az ásványfázisok kiválása viszonylag magas hőmérsékleten (>800 °C) zajlott. Ezzel szemben, a tusnádfürdői vulkáni képződmény magmája sekélyebb mélységben (5–6 km?) és alacsonyabb hőmérsékleten (<750 °C) kristályosodott. A magma összetétele differenciáltabb jellegről árulkodik, azonban a többi horzsaköves

képződmény magmájával nem állapítható meg frakcionációs kristálygenetikai kapcsolat. Feltételezzük, hogy a Csomád vulkanizmusa során egyedi magmacsomagok jutottak a felszínre viszonylag gyorsan, amelyek között csak mélybeli genetikai kapcsolat lehetett. Az amfibol fenokristályokban gyakoriak a nagy Mg-tartalmú ásványfázisok, elsősorban ferro-ensztatitok. Ezek az ásványfázisok vagy a litoszféraköpenyből származó xenokristályok lehetnek vagy egy mafikus magma (adakitos Mg-gazdag andezit?) korai kiválási termékeiként értelmezhetők. Ezek az ásványfázisok (orto- és klinopiroxének, olivin) arra utalnak, hogy a csomádi magmagenezisben fontos szerepe lehetett a köpenyeredetű mafikus magmáknak. Feltételezzük, hogy a mafikus magmák megakadtak a vastag földkéreg alatt, ahol részleges olvadást indíthattak el. A folyamatos olvadás, újratöltődés, magmakeveredés, hibridizáció (ún. MASH folyamat) együttesen magyarázhatják, hogy közel egy millió éven keresztül viszonylag homogén kémiai összetételű magma tört a felszínre a Csomádon. A vulkanizmus viszonylag fiatal kora és szakaszos működése (hosszú nyugalmi időszakokkal) fontossá teszi, hogy a magmagenetikai folyamatokat még pontosabban megismerjük, hogy az esetleges felújuló vulkáni működés lehetőségét értékelni tudjuk.

Bevezetés

A Kárpát–Pannon térség miocén–pleisztocén vulkanizmusának (SZABÓ et al. 1992; HARANGI 2001; SEGHEDI et al. 2004; 2005) legutolsó eseménye a Hargita délkeleti peremén zajlott, a Csomád (Ciomadul) vulkán területén. A szénizotóp kormeghatározások alapján a térség legutolsó vulkáni kitörése 10–38 ezer éve történhetett (JUVIGNE et al. 1994; MORIYA et al. 1995, 1996), a mai Szent Anna-tó helyén. Ettől északkeletre található a Mohos-láp, amely egy korábbi robbanásos vulkáni kitörés központja lehetett. E korábbi vulkáni kitörés idejére azonban nincsen közvetlen adat. Közvetett információt egy, a kráter közelében talált dácit blokk 220 ezer éves K/Ar kora szolgáltat (SZAKÁCS et al. 1993). A robbanásos vulkáni működést megelőzően kisebb-nagyobb lávadómok keletkeztek 900–400 ezer évvel ezelőtti periódusban (PÉCSKAY et al. 1995a).

A Csomád vulkán a Vráncsa (Vrancea) aktív szeizmikus területtől néhány tíz kilométerre található. A szeizmikus veszélyeztetettség mellett nem zárható ki egyértelműen a vulkáni kitörések felújulásának lehetősége sem (SZAKÁCS et al. 2002). Mindez fontossá teszi, hogy megértsük a Csomád vulkáni tevékenységének mechanizmusát és a magmafejlődés folyamatait. Ennek egyik módja a vulkáni kőzetekben előforduló ásványfázisok petrográfiai és geokémiai adatainak értelmezése (pl. MURPHY et al. 2000; HALAMA et al. 2006).

Korábbi petrográfiai leírások után (pl. HERMANN & VARGA 1950, LAZAR & ARGHIR, 1964) az első modern kőzetkémiai eredményeket a Dél-Hargita vulkáni kőzeteiről SEGHEDI et al. (1986, 1987), SZAKÁCS & SEGHEDI (1986) és SZAKÁCS et al. (1993) tették közé. Ezekben a munkákban a szerzők rámutattak a Dél-Hargita pliocén–pleisztocén vulkanizmusának számos egyedi vonására. Petrogenetikai modelljükben az alábukó kőzetlemez feletti köpenyékben történt, északról délre egyre csökkenő mértékű és egyre mélyebben zajlott részleges olvadási folyamatot jelölték meg a leglényegesebb folyamatnak, míg a frakcionációs kristályosodásnak alárendelt szerepet tulajdonítottak. A Málnás és Sepsibükkszád közeli két shoshonitos szubvulkáni kőzettest esetében azonban magmakeveredés lehetőségét is felvetették. A későbbiekben MASON et al. (1995, 1996, 1998) végzett részletes vizsgálatot a Kelemen–Görgény–Hargita vulkáni vonulat képződményein. Ugyanakkor, a nagy területre kiterjedő, modern, teljes kőzet geokémiai vizsgálatok mellett csak alárendelt szerep jutott egy-egy vulkáni felépítmény részletes tanulmányozására, beleértve a részletes ásványkémiai vizsgálatokat is. A Csomád vulkán esetében az új

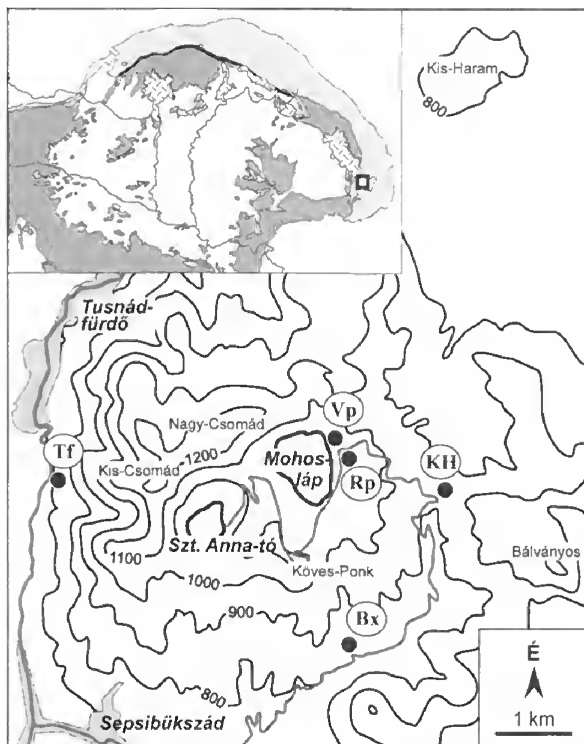
vizsgálatok kizárólag néhány lávadómkőzetre koncentráltak (MASON et al. 1995; 1996). Ezért, e munkában részletes jellemzést adunk a Csomád legfiatalabb vulkáni képződményeiről, a horzsakő-tartalmú piroklasztitokról. Munkánkban elsősorban a horzsakövek kőzettani és geokémiai tulajdonságainak bemutatására helyezzük a hangsúlyt. A geokémiai adatbázis alapján előzetes következtetéseket vonunk le a magmafejlődés fő folyamataira.

Földtani háttér

A Csomád a Kárpát–Pannon térség délkeleti részén található, a Kelemen–Görgény–Hargita vulkáni vonulat déli végződésén (*1. ábra*). A miocén–kvarter vulkáni tevékenység a radiometrikus koradatok tükrében délkelet felé fokozatos fiatalodást mutat ((RADULESCU et al., 1972, PELTZ et al., 1987, PÉCSKAY et al. 1995a): A Kelemen-havasokbeli vulkánosság 11,3–6,7 M év (SEGHEDI et al., 2005), a görgényi 7,5–5,3 M év, az észak-hargitai 6,5–3,9 M év, míg a dél-hargitai vulkáni működés zöme 6 és 2,4 M év között zajlott (PÉCSKAY et al. 1995a). Ezt követően, két shoshonitos magmabenyomulás történt a Hargitai vulkáni komplexumtól délre (Málnás és Sepsibükkszád) 1,5–1,7 millió éve, amit a Csomád vulkán felépülése követett. A legidősebb képződmények itt 1–0,75 millió évesek (Bálványos, Kis-Haram), amit egy lávadómokból felépülő együttes kialakulása követett 0,65–0,5 M év között (Nagy-Haram, Várhegy, Szurdok, Komlós-árok, Nagy-Csomád, Kis-Csomád, Taca és a Köves-Ponk; SZAKÁCS et al. 1993; PÉCSKAY et al. 1995b). A legfiatalabb, robbanásos vulkáni kitörések a lávadómkomplexumon belül zajlottak, valószínűleg kevesebb, mint 200 ezer éve.

A vulkáni működés fiatalodása a Kelemen–Görgény–Hargita vonulatban egyre kevesebb magma felszínre kerülésével járt. Figyelemre méltó, hogy a vulkáni kőzetek kémiai összetételében a vulkáni vonulat dél-hargitai szakasza mentén jelentős változás történt. Az uralkodóan mészalkáli andezit–dácit vulkáni képződményeket, káliumban, valamint báriumban és stronciumban gazdag, nehéz ritkaföldfémekben pedig viszonylag szegény, magas K-tartalmú mészalkáli és shoshonitos összetételű vulkáni kőzetek váltották fel (SEGHEDI et al. 1987; SZAKÁCS et al. 1993; MASON et al. 1996).

A vulkáni működés geodinamikai kapcsolata máig vitatott. A Kelemen–Görgény–Hargita mészalkáli vulkánosság kapcsolatát szubdukciós folyamattal elsőként BLEAHU et al. (1973), RĂDULESCU & SĂNDULESCU (1973), valamint BOCCALETTI et al. (1973) vetették fel, ami azóta is általánosan elfogadott magyarázattá vált. A vulkáni működés fokozatos fiatalodását MASON et al. (1998) a ferdén alábukó óceáni litoszféralemez fokozatos letörésével magyarázta, amely letörés mélysége délkelet felé egyre sekélyebbre tolódott. A délkeleti-Kárpátok térségének geodinamikáját ezzel szemben GÎRBACEA & FRISCH (1998), CHALOT-PRAT & GÎRBACEA, (2000), valamint GVIRTZMAN (2002) a litoszféra alsó részének horizontális leválásához (delaminációjához) kötötte. Mindkét esetben, a csomádi dácit, valamint a Persány hegységi alkáli bazalt vulkanizmust a viszonylag magas hőmérsékletű asztenoszféra anyag felemelkedése idézhette elő. SEGHEDI et al. (2004) szerint ebben a környezetben az alábukó óceáni lemez is részben megolvadhatott. Fontos megjegyezni, hogy a szeizmikus vizsgálatok egy viszonylag kis szeizmikus sebességű zónát mutattak ki a Csomád és a Vráncsa terület alatt 50–70 km mélységben (HAUSER et al. 2001; POPA



1. ábra. A vizsgált feltárások helyei és a minták nevei a csomádi vulkáni komplexumban. Vp: Verespatak, Rp: Románpuszta, KH: Kovászna–Hargita megyehatár, Bx: Sepsibükkszád, Tf: Tusnádfürdő

Fig. 1 Location of the described outcrops and the name of the samples in the Ciomadul volcanic complex. Vp: Verespatak, Rp: Románpuszta, KH: Kovászna– Hargita county border, Bx: Biscad (Bükkszád), Tf: Băile Tuşnad (Tusnádfürdő)

Fig. 1. Poziţia aflorimentelor şi numele eşantioanelor din complexul vulcanic Ciomad. Vp: Pârâul Roşu, Rp: Poiana Română, KH: limita judeţelor Covasna–Harghita, Bx: Bicsad, Tf: Băile Tuşnad

et al. 2005; RUSSO et al. 2005), ami sekély asztenoszféra és/vagy részlegesen olvadt zónával magyarázható. A földkéreg a térség alatt viszonylag vastag (45–50 km; CLOETINGH et al. 2004), azaz ez a kis szeizmikus sebességű öv közvetlenül a földkéreg alatt helyezkedik el.

A dél-hargitai és azon belül a csomádi vulkáni működés számos egyedi vonást mutat (SZAKÁCS et al. 1993): (1) A vulkáni komplexum kréta flis üledékes sorozatra települ, ami a Keleti-Kárpátok akkréciós ék sorozatát képviseli. (2) A csomádi dácitvulkánossággal egyidőben alkáli bazalt magma tört fel a Persány hegység előterében, a Csomádtól mintegy 40 kilométer távolságban nyugatra (SEGHEDI & SZAKÁCS 1994; DOWNES et al. 1995; PANAIOTU et al. 2004). (3) A csomádi vulkáni kőzetek jellemzően különböző kőzetkémiai sajátosságokat mutatnak a tőle északnyugatra fekvő mészalkáli vulkáni sorozathoz képest.

Vizsgálati módszerek

A terepi vulkanológiai megfigyelések nyomán a mintavételezés és a minták kiválasztása laboratóriumi vizsgálatokra a következő szempontok szerint történt: 1) képviselve legyen minden ismert horzsaköves feltárás, 2) az adott feltáráson belül függőleges szelvény mentén több piroklasztitszint horzsaköve is vizsgálatra kerüljön; 3) az egyes feltárásokon belül vizsgáltuk az eltérő megjelenésű horzsaköveket is.

A horzsakövekben lévő ásványfázisok, valamint a kőzetüveg kémiai összetételét elektronmikroszonda vizsgálattal határoztuk meg. A mérések az Institute für Litho-

sphärforschungen, Universität der Wien mikroszonda laboratóriumában történtek CAMECA SX100 típusú hullámhossz-diszperzív spektrométerrel felszerelt műszerrel, 15 kV feszültségen, 20 nA mintaáramon. A kőzetüvegek esetében a nátriumveszteség kiküszöbölésére defókuszált, 5 mm átmérőjű elektronsugarat használtunk, a Na és K mérése pedig csak 10 mp-ig történt, míg a többi elemé 20 mp-ig. Az egyes elemek koncentrációjának mennyiségi meghatározásához az alábbi ásványstandardokat használtuk: Na, Si, Al: albit; Fe: almandin; Mg: olivin; Ca: wollasztonit; Ti: rutil; Mn: spessartin; K: ortoklász. Az eredményeket másodlagos standardokon ellenőriztük.

A teljeskőzet kémiai összetételt röntgenfluoreszcens spektrometriai vizsgálattal határoztuk meg az Universität der Wien geokémiai laboratóriumában. A minták elemzése három szakaszban történt: izzítási veszteség meghatározása, főelem-, majd nyomelem-összetétel mérése. Az izzítási veszteséget (LOI) a minták három órás, 850 °C-os kemencében való hevítésével keletkezett tömegveszteségből számoltuk. A főelemeket magas hőmérsékleten homogenizált, majd hirtelen lehűtött üveglemezeken mértük. Ehhez a kihevített minták 1,2 g-ját 6 g dilítium-tetraboráttal elkeverve 1200 °C-on homogenizáltuk, majd hibátlan felületű üveglemezeket öntöttünk belőlük. A nyomelem mérésekhez a hevítetlen porminták 10 g-ját 0,5 ml polivinil-alkohol oldattal kevertük, majd sima felületű korongokká préseltük. A mintaelőkészítések után a mintákat Philips PW2400-as Rh-csővel felszerelt, szekvens röntgenfluoreszcens spektrométerrel mértük. Néhány további nyomelem (Sc, Th) és a ritkaföldfémek koncentrációjának meghatározása ELAN 6100 típusú induktív-csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) történt. A minták feloldása salétromsav és hidrogénfluorid oldatokkal történt. Az eredményeket BE-N és BCR-2 nemzetközi standardok egyidejű mérésével ellenőriztük. A kapott adatok $<5\%$ hibahatárral megegyeztek.

A horzsakövet tartalmazó feltárások leírása

Terepi vizsgálataink során megmintáztuk a csomádi vulkáni komplexumban előforduló összes olyan feltárást, amelyben horzsakövet tartalmazó vulkáni törmelékes képződmény található (*1. ábra*). Ezek a képződmények a Csomád második, robbanásos vulkáni kitörésszakaszából származnak, azonban terepen nem különíthetők el egyértelműen a Mohos, illetve a Szt. Anna kitörések termékei. E feltárások egy részének korábbi leírása, részben vulkanológiai értelmezése BÁNYAI (1917), SZAKÁCS & SEGHEDI (1991, 1996), valamint MORIYA et al. (1995, 1996) munkáiban található meg.

Tusnádfürdői feltárás (Tf) (részben SZAKÁCS & SEGHEDI (1996), MORIYA et al. (1995, 1996) leírásai alapján)

A 15–18 m hosszú és 13–14 m magas mesterséges feltárás Tusnádfürdőtől 1–1,5 km-re délre található a sepsibükkszádi úton, a csomádi komplexum nyugati lejtőjén.

A feltárás rétegsorának legalját az Olt teraszüledékei képezik. Ezen található egy 30 cm vastag őstalajréteg, ami felett már csak vulkanikus eredetű képződmények fordulnak elő. A vulkáni összleten belül – alulról felfelé – négy egységet különíthetünk el.

1) Jól osztályozott, 4,6 m vastagságú, subpliniusi, szórt lapillikő egység, 2–10 cm-es horzsakövekkel. A horzsakövek közt sűrűségbeli különbségeket észleltünk.

2) Váltakozó tufa- (3–5 cm vastag) és horzsaköves finomszemcsés lapillitufa (3–15 cm vastag) rétegegység, ami freatomagmás kitöréshez kapcsolható.

3) Rosszul osztályozott, 5,4 m vastag, mátrixvázú, lapillitufa piroklasztár egység két különböző törmeléksűrűségű alegységgel. Ez az egység többnyire litoklasztokat tartalmaz, elszórtan elszenesedett ágmaradványok jelennek meg.

4) Rosszul osztályozott, változó vastagságú (maximálisan 1 m), mátrixvázú, sűrű, durvatörmelékes, nagy energiájú vulkáni törmelékár (lahar) üledék.

A vizsgált minták az 1) és 3) rétegből származnak.

Románpusztai feltárás (Rp)

A mesterséges feltárás a Mohos-krátertől keletre, a természetvédelmi területet jelző táblával ellentétes oldalon, a Szt. Anna-tóhoz vezető úttól 20 m-re, a tisztáson található, magassága 2–2,5 m. A feltárás egy vulkáni egységként értelmezhető, amely több rétegből áll. A rétegek 30°-ban a Mohos-kráter felé dőlnek.

A feltárásban ritmikusan váltakoznak tufarétegek lapillikőrétegekkel (2. *ábra, A*). A hullámos lefutású tufarétegek vastagsága 5–20 cm közti, néhol belső finomrétegzettséget tapasztaltunk. A lapillikőrétegek vastagsága 5 cm-től 1 m-ig változik. Közepesen osztályozottak, többnyire horzsakövet tartalmaznak, amelyek mérete az egyes rétegekben 2–6 cm közt váltakozik. A lapillikőrétegekben két eltérő megjelenésű horzsakövet találunk. Az egyik típus világos, fehér színű, hólyagüregben gazdag, kis sűrűségű, a másik pedig szürkés színű, tömöttebb szövetű, nagyobb sűrűségű. A feltárás egy 30 cm vastag nagyon jól osztályozott (szemcseméret 3–5 cm) réteggel végződik. Korábban két kőzetblokk (50 cm átmérő) aszimmetrikus becsapódási nyoma is látható volt, amely alapján visszakövetkeztethetünk a szállítás irányára, és a Mohos-kráterből való származásra. A vulkanológiai jellegek freatomagmás kitöréshez kapcsolódó piroklasztszórás és torlóár váltakozására utalnak. A vizsgált feltárás alatt, közvetlenül az út rézsűjében egy kisebb, félig-meddig beomlott feltárás található, amelynek finom tufaüledékeiben akkréciós lapilli figyelhető meg. Ez utóbbi feltárást korábbi, jobb állapotában részletesen SZAKÁCS & SEGHEDI (1989; 1991) írták le, amelyben dűneszerkezetű alapi torlóár üledéket azonosítottak. Az üledék jellege és az akkréciós lapilli megjelenése alapján freatomagmás kitörésre következtettek. A horzsakőmintákat a feltárás felső részéből vettük.

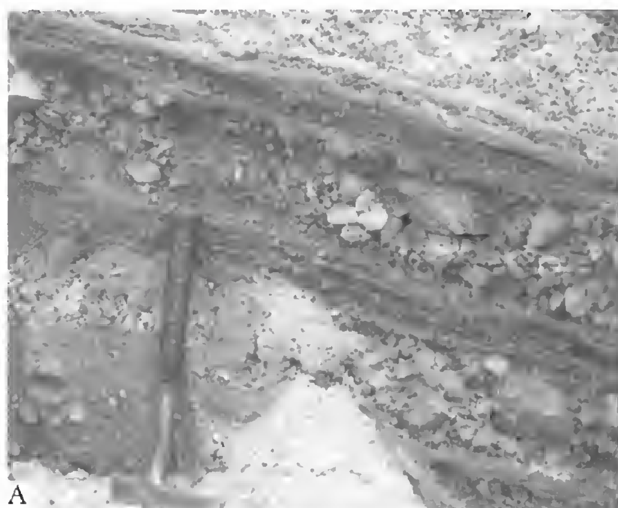
Veres-pataki feltárás (Vp)

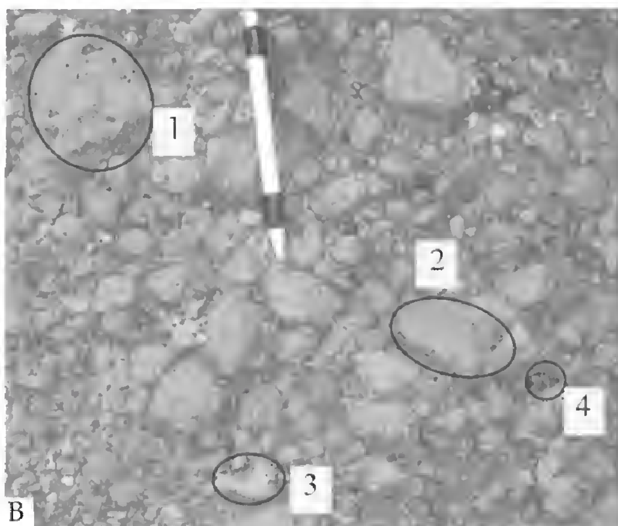
A Mohos-kráter ÉK-i részében, a lápot lecsapoló Veres-patak által feltárt két kibukkanás, amelyek a patak szurdokának bal ágában, illetve a két ág egyesülésénél találhatók. Az alább leírt rétegsort a két feltárás szelvényének összeillesztése alapján adjuk meg. A feltárásban három egységet különíthetünk el alulról felfelé.

1) Freatomagmás eredetű, 3 m vastag, tufa és horzsakő-tartalmú lapillikőrétegek ritmikus váltakozása. Az alsó feltárás alja erősen dőlt (20°), 4–5 pár tufa és horzsaköves lapillikőréteg ritmikus váltakozásából áll. A tufarétegek vastagsága 2–8 cm közti. A közepesen osztályozott, lapillikőrétegek vastagsága 15–30 cm.

2) A középső egység vastagsága kb. 3 m. Tömeges, rosszul osztályozott, mátrixvázú horzsaköves piroklasztár eredetű üledék.

3) A legfelső egység 0,7 m vastag. Több vékony tufaréteg sorozata, amelyen belül néhány vékony, finom lapillikő és lapillitufa (szemcseméret 0,3–1 cm) horzsakőréteget is találunk. Vastagságuk 1–10 cm.





2. *ábra.* A) Váltakozó tufa és lapillikőrétegek a románpusztai (Rp) feltárásban. B) A lapillikőrétegek jellemző törmelékei (Kovászna–Hargita határfeltárás; KH): 1. Kis sűrűségű, világos színű horzsakő; 2. Nagyobb sűrűségű, szürke horzsakő; 3. Dácitlitoklaszt; 4. Sötét színű, üveges dácitlitoklaszt

Fig. 2. A) Alternating tuff and lapillistone beds in the Románpuszta (Rp) outcrop. B) Characteristic clasts of the lapillistone beds (Kovasna–Harghita county boundary outcrop; KH): 1. Low density, bright pumice; 2. Denser, grey pumice; 3. Dacite lithoclast; 4. Dark glassy dacite lithoclast

Fig. 2. A) Alternanţe ale orizonturilor de tufuri şi lapilii din aflorimentul de la Poiana Română (Rp), B) Detritusul caracteristic al orizontului de lapilii (aflorimentul de la limita judeţelor Covasna–Harghita, KH): 1. Piatră ponce de culoare deschisă cu densitate mică; 2. Piatră ponce de culoare gri cu densitate mai mare; 3. Litoclaste de dacit; 4. Litoclaste sticloase de dacit de culoare inchisă

A feltárás lábánál, a patak medrében nagy számú kenyérbombát találtunk. A kőzetdarabok külső, radiálisan repedezett kérge fekete, üveges, míg a belseje szürke, porfíros szövetű kőzet. A Csomádon és környezetében előforduló kenyérbombákat Szakács & Jánosi (1989) írták le részletesen.

Kovászna–hargitai megyehatár menti feltárás (KH)

A Kovászna–Hargita megyehatár mesterséges feltárás a Szent Anna-tóhoz vezető úttól jobbra, a megyehatárt jelző táblától 50 méternyire, az erdőben található. Jelenleg a feltárás magassága 2 m körüli.

A képződmény több alegységre osztható. Finom tufarétegek váltakoznak durvább szemcsés lapillikő rétegekkel. Az egyes tufarétegek vastagsága 1–6 cm közötti, jól

osztályozottak, belső lamináltság ritkán tapasztalható. A lapillikő rétegek vastagsága 5–50 cm közti. Ez utóbbiak közepesen osztályozottak. Főként 5–6 cm-es horzsakövekből állnak, de viszonylag sok hasonló méretű litoklasztot is tartalmaznak (2. *ábra, B*). A litoklasztok részben andezitek-dácitok, részben az előző feltárásban leírt kenyérbombák szegélyi részéhez hasonló üveges kőzetdarabok. Ebben az alegységben is megtalálható a korábbi feltárásokban leírt két, kis és nagy sűrűségű horzsakőtípus.

Sepsibükkszádi feltárás (Bx)

A feltárás a Sepsibükkszádtól Szent Anna-tóhoz vezető út bal oldalán, a falutól 3 km távolságra lévő útbevágásban található. A Csomád déli lejtőjén elhelyezkedő 5–10 m magas és 15 m széles feltárásban több vulkáni egységet különíthetünk el.

1) A feltárás alsó részén magmás litoklasztokat is tartalmazó folyóvíz által lerakott üledékek találhatók.

2) A feltárás jobb felső negyedében, 2 m vastagságban egy tömeges, rosszul osztályozott, mátrixvázú törmelékár üledéke látható, amelyben a változatos színű porfíros, magmás litoklasztok aránya kb. 80%. A kőzetdarabok mérete a néhány cm-től a több 10 cm-ig terjed.

3) A folyóvízi üledékes rétegsorban egy völgybevágódásszerű mélyedés figyelhető meg. Ennek alsó 20 cm-ében sárgás elszíneződésű, jól osztályozott, mátrix nélküli, 2–8 cm-es, szögletes, magmás törmelékekből álló réteg található, amely piroklasztszórással keletkezhetett. A magmás törmelékek hasonló litológiai típusúak, ami alapján feltehetően ezek a vulkáni kürtő megnyílásakor, a kürtőt elzáró magmadugónak a kirobbanása során jöttek létre. Erre utalhat a törmelékek sárgás elszíneződése is, ami feltehetően hidrotermás átalakulás eredménye.

4) A szórt egység fölött 4 m vastagságban egy tömeges, rosszul osztályozott, mátrixvázú horzsaköves piroklasztár egység figyelhető meg, amely az előzőekben leírt egységtől mind színében, mind anyagában különbözik. Ebben az egységben a durvaszemcséjű piroklasztok aránya kb. 70%, ezek főleg néhány cm – akár 30 cm átmérőjű horzsakövek. A horzsakövek szimmetrikus gradációt mutatnak: alul inverz, felül normál gradáció figyelhető meg. A vulkáni egység alsó fél méterében a szemcseméret 2–10 cm, a rá következő fél méterben 10–30 cm-es darabok dominálnak, majd a szemcseméret újra 2–10 cm-ig csökken. Esetenként előfordulnak vörös és szürke színű, 1–2 cm nagyságú magmás litoklasztok. Az egység legalsó, kissé sárgás elszíneződésű részében több elszenesedett ágdarabot találtunk, ami a piroklasztár magas hőmérsékletére utal. Az egység, illetve a 3) egység aljának homorú alakja és a folyóvízi üledékegységre való településük azt sugallja, hogy a piroklasztár egy egykori völgyben zúdulhatott le.

Horzsakő mintát a 4) egységből vettünk. Innen származik egy szenesedett famaradvány minta is, amelynek betemetődési korára szénizotópos kormeghatározást végeztünk.

Fehérmartoki feltárás (Fm)

A Kézdivásárhely határában, a Csomádtól 25–30 km-re, a Torja-patak bal partján lévő helyiek által használt homokbányában található fehérmartoki feltárást elsőnek BÁNYAI említette (1917). A feltárásban látható horzsakő-lapilli réteget SZAKÁCS et al. (2002) a Csomád robbanásos kitörésének disztális képződményeként értelmezte.

A neogén–negyedkori üledékek közt 25–35 cm vastagságban települ a horzsakő-tartalmú, szemcsevázú, szórt lapilliréteg. A horzsakövek jól osztályozottak, az átlag szemcseméret 2–3 cm, az 5 legnagyobb piroklaszt átlagnagysága 5 cm.

Radiokarbon kormeghatározás

A Csomád legutolsó vulkáni kitörésének korára a korábbi szénizotóp-vizsgálatok nem adtak egyértelmű eredményt. A tusnádfürdői (Tf) feltárásban, részben a piroklasztitréteg alatt található őstalajból származó, részben a piroklasztárban található szenesedett famaradvány mintákon végzett elemzések 10 700 BP (JUVIGNE et al. 1994) és 38 000 BP (MORIYA et al. 1995; 1996) közötti koradatot adtak. Mivel a tusnádfürdői feltárásban csak nagyon kis mennyiségű szenesedett famaradványt találtunk, ezért itt további elemzést nem tudtunk végezni. Ezzel szemben, a sepsibükkszádi (Bx) feltárásban találtunk egy nagyobb szenesedett famaradványt, ami alkalmas volt szénizotópos kormeghatározásra. A vizsgálatot a debreceni MTA Atommagkutató Intézet Környezetanalitikai Laboratóriumában végezték. A kapott koradat (27 040 ±450 BP év) a tusnádfürdői mintákra kapott koradatok közé esik. Nem zárható ki azonban, hogy a horzsaköves képződményeket létrehozó vulkánosság akár több szakaszban zajlott néhány ezer éves időintervallumban. A kapott kor ugyanakkor megerősíti, hogy a sepsibükkszádi feltárásban megjelenő horzsaköves képződmény szintén a Csomád legutolsó vulkanizmusának terméke.

A horzsakövek petrográfiai leírása

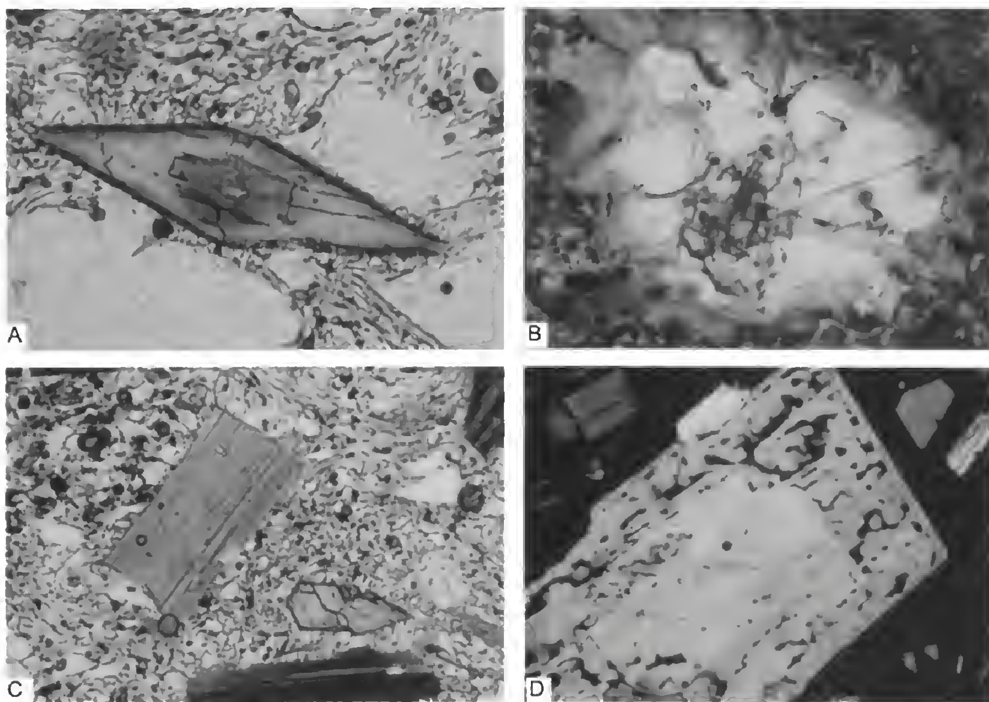
Minden feltárásból nagyszámú horzsakőmintát gyűjtöttünk, figyelve a különböző típusokra és a vertikális szelvényezésre is. A petrográfiai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a horzsakövek, függetlenül a szelvénybeli helyzetüktől és sűrűségüktől, hasonló kőzettani jellegeket mutatnak. A különböző sűrűségű horzsakövek esetében a különbség a kőzetüveg szerkezetében figyelhető meg. A világos színű, kis sűrűségű horzsakövek némileg porózusabbak, sok és nagy méretű hólyagüreget tartalmaznak, a köztük lévő kőzetüvegfalak pedig nagyon vékonyak (1–2 μm). Ezzel szemben, a szürke, nagyobb sűrűségű horzsakövek kevésbé porózusak és bár szintén sok hólyagüreget tartalmaznak, de ezek kisebb méretűek, a kőzetüvegfalak pedig vastagabbak az előbbi típusnál.

A horzsakövek nagyrészt (60–70%) kőzetüvegből állnak. A kőzetüveg teljesen izotróp, üde, illetve csak nagyon ritkán mutat kismértékű átalakulást (devitrifikációt), többnyire csak a szegélyeken. A fenokristályok mennyisége 10–12 térfogat%. Ezek plagioklászok, amfibolok és kisebb mennyiségben biotitok. Járulékos ásványként sok apatit, kevés titanit és cirkon található.

A plagioklászok méretük alapján három csoportba sorolhatók. A legnagyobbak xenomorfak-hipidiomorfak, átlagos méretük 2–4 mm. A közepes nagyságú plagioklászok hipidiomorfak-idiomorfak. A hipidiomorf kristályok szegélyén gyakran megfigyelhetők kőzetüveg beöblösödések. A legkisebb méretű (0,2–0,3 mm) plagioklászkristályok idiomorfak. A nagy és közepes méretű plagioklászok gyakran zónásak, esetenként nagyobb kristályokban oszcillációs zónásság is előfordul. A

legnagyobb plagioklászokra jellemző a szivacsos szerkezet, azaz a kristály magjában több-kevesebb mennyiségű szabálytalan alakú, olykor egymásba kapcsolódó szilikátolvadék-zárvány jelenik meg. Ezt a kristályszöveti megjelenést a szakirodalomban szivacsos-sejtes típusnak nevezik (HIBBARD 1995). Ezekre a plagioklászokra jellemző a rezorbeált, szabálytalan lefutású szegély. A közepes integritású plagioklászok közt két fő szerkezeti típust különíthetünk el: i) a mag szivacsos-sejtes, a szegély pedig homogén, zárványmentes; ii) a mag homogén, a szegély szivacsos-sejtes (3. *ábra, D*). A plagioklászokban gyakoriak az elsődleges szilikátolvadék zárványok. A nagyobb plagioklászok amfibol- és biotitzárványokat is tartalmaznak, illetve gyakori az előbbi ásványokkal való összenövés. Esetenként nagyobb méretű (max. 0,37 mm) cirkonzárványokat is találunk.

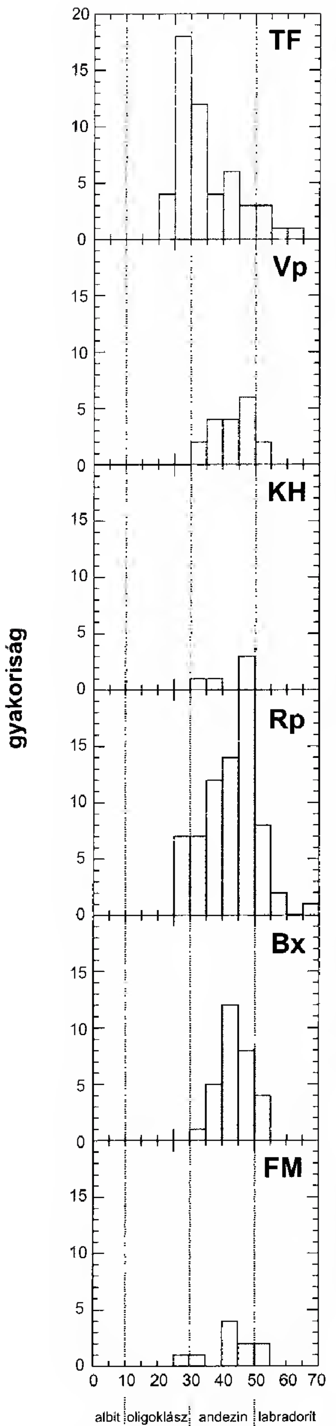
Az amfibolok mérete változó, átlagban 0,8–1 mm nagyságúak. Nagyrészt idiomorf megjelenésűek (3. *ábra, A*), de gyakoriak a tört kristályok is. Színük általában halványzöld-sötétzöld, pleokroósak, emellett előfordulnak vörösesbarna színűek is. Opacitosodás körülöttük nem figyelhető meg. Megjelenésük alapján az amfibolok horn-



3. ábra. A) Oszcillációs zónás amfibol fenokristály (Rp feltárás,), 1N. B) Ortopiroxén xenokristály, amelynek rezorbeált peremére amfibol kristályok növekedtek (KH feltárás), 1N. C) Biotit fenokristály (Rp feltárás), 1N. D) Plagioklász fenokristály külső szivacsos szövettel (Rp feltárás), +N.

Fig. 3 A) Oscillatory zoned amphibole phenocryst (Rp outcrop), 1N. B) Orthopyroxene xenocryst overgrown by amphibole crystals (KH outcrop), 1N. C) Biotite phenocryst (Rp outcrop), 1N. D) plagioclase phenocryst with spongy margin (Rp outcrop), +N.

Fig. 3. A) Fenocristale de amfibol cu zone oscilatorii (aflorimentul Rp), 1N. B) Cristale de amfibol crescute peste xenocristale de ortopiroxeni (aflorimentul KH), 1N. C) Feno-cristale de biotit (aflorimentul Rp), 1N. D) Fenocristale de plagioclaz cu aureolă marginală spongioasă (aflorimentul Rp), +N.



blendék. Megjelennek ikres és zónás kristályok is. A legtöbb amfibol normál zónás, de előfordulnak oszcillációs (3. *ábra, A*), sőt inverz zónás kristályok is. Egyes amfibolkristályok belsejében színtelen, eltérő interferencia színű ásványokat figyeltünk meg, amelyeket piroxénként határoztunk meg (3. *ábra, B*). Ezek az ásványok erősen rezorbeált megjelenésűek és az amfibolkristályok magját képezik. A mikroszondás elemzések alapján ezek nagyrészt ortopiroxének, azonban előfordulnak ortopiroxénre ránőtt klinopiroxének is. Szintén a mikroszondás vizsgálatok mutatták ki, hogy a piroxének mellett olivin is (Bxu4/4 sz. minta) megjelenik amfibol kristályok magjában. Az amfibolkristályokban szintén gyakoriak a szilikátolvadék-ásványok. A nagyobb kristályokban előfordulhatnak plagioklász- és biotitzárványok is.

A fenokristályok között legkisebb mennyiségben az idiomorf-hipidiomorf biotit jelenik meg (3. *ábra, C*). Apatit- és szilikátolvadék-zárványokat tartalmaz. A biotitok belsejében néha sötétebb barnás folt észlelhető, amelyek cirkonzárványok pleokroós udvaraiként értelmezhetők.

Járulékos ásványként apatit, titanit és cirkon fordul elő. Az apatit helyenként mikrofenokristály méretben is megjelenik.

A horzsakövek ásványkémiai vizsgálata

A horzsakövekben található ásványfázisok és a kőzetüveg kémiai összetétel adatai a http:// petrology. geology.elte.hu/harangi.html honlapról tölthetők le.

A horzsakövekben a leggyakoribb fenokristály a földpát, amely kivétel nélkül plagioklász. A plagioklászok kémiai összetétele viszonylag homogén, többségük andezin (4. *ábra*). A románpusztai (Rp) és tusnádfürdői (Tf) horzsakövekben megjelenő plagioklászok

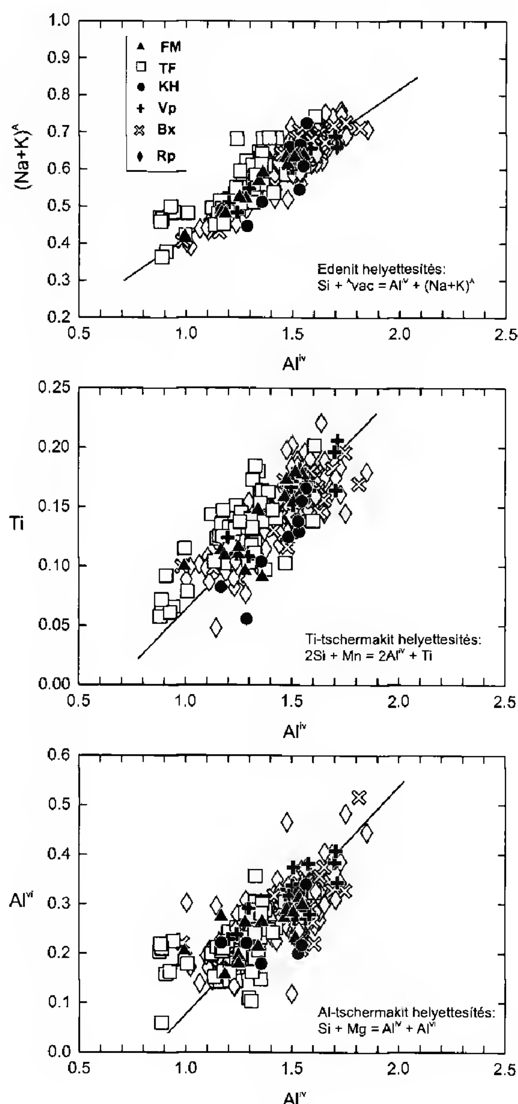
4. ábra. A vizsgált feltárások horzsaköveiben előforduló plagioklászok An-tartalom (mol%) változékonysága. A feltárások szimbólumait az 1. ábra tartalmazza. FM: fehérmartoki feltárás

Fig. 4 Variation of the An-content (mol%) of the plagioclases found in the pumices of the studied outcrops. The explanations of the symbols of the outcrops can be found in Fig. 1. FM: Fehérmartok outcrop

Fig. 4. Variaţia conţinutului de An (mol%) al cristalelor de plagioclazi găsite în pietrele ponce din aflorimentele studiate. Legenda pentru aflorimente vezi la Fig.1. FM: aflorimentul Fehérmartok

mutatják a legnagyobb kémiai változékonyságot: az andezin mellett labradorit és bázisos oligoklász is előfordul. A tusnádfürdői minták elkülönülése a legszembetűnőbb, amelyben nagyobb mennyiségben vannak Na-ban gazdagabb plagioklászok (An=25–35 mol%). Az egyes feltárások vertikális szelvényében nem tapasztaltunk változást a plagioklászok összetételében. A különböző megjelenésű – sűrűségű – horzsakövek plagioklászai szintén hasonló összetételűek.

A horzsakövek leggyakoribb mafikus ásványa az amfibol. A vizsgált amfibolok az IMA nevezéktan (LEAKE et al. 1997) szerint négy csoportba tartoznak: edenit, magneziohastingsit, magneziohornblende és pargazit. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy ez az osztályozás jelentősen függ az alkalmazott Fe^{3+} becslési eljárástól is (mikroszonda vizsgálattal nem különíthető el a különböző oxidációs fokú vas, az ásványkémiai összetételben a vasat FeO formában kifejezve adják meg. Az Fe^{3+} értékének becslése elektrosztatikai és/vagy sztöchiometriai alapon történik). A szakirodalomban egyes szerzők 13 kationszámra (13CNK; az összkationszámból levonva a Ca, Na és K értékeit) számolják ki az amfibolok Fe^{3+} értékét (pl. BACHMAN & DUNGAN 2002), mások a LEAKE et al. (1997) munka ajánlásait követve a minimum és maximum becslés átlagát veszik (pl. HALAMA et al. 2006). A két számolás hasonló eredményt ad a kationszámok többségére, azonban az Fe^{3+}/Fe^{2+} arány a 13CNK-számolás esetében 2–3-szorosa a LEAKE et al. (1997) által javasolt módszerrel kapott értékhez képest. Mindez jelentősen befolyásol-



5. ábra. A $(Na+K)^A$, Ti és Al^{vi} változása az Al^{iv} függvényében jelzi az amfibolokban lévő elemhelyettesítési folyamatokat. A csomádi horzsakövekben lévő amfibolokban mind a hőmérséklet-, mind a nyomásfüggő elemhelyettesítés felismerhető

Fig. 5. Variation of $(Na+K)^A$, Ti and Al^{vi} in the function of Al^{iv} indicating the substitution mechanisms in the amphiboles. The Ciomadul amphiboles show both the temperature and pressure dependant substitutions

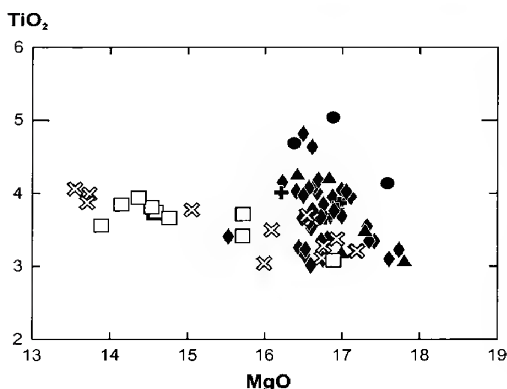
Fig. 5. Variaţia $(Na+K)^A$, Ti şi Al^{vi} în funcţie de Al^{iv} indicînd mechanismul de substituţie a elementelor. În amfibolii pietrelor ponce se poate recunoaşte mechanismul de substituţie dependent de temperatură sau de presiune

ja a nevezéktani besorolást is, amelyben kiemelt szerepet kapnak többek között az $Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})$, valamint az Al^{vi}/Fe^{3+} arány értékek. Az IMA ajánlást követve az amfibolok túlnyomó többsége edenit, ami mellett a magneziohastingsit és magnesiohornblende jelenik meg, míg a 13CNK-számolás alapján az amfibolok nagy többsége magneziohastingsit és magneziohornblende, pargazit egyáltalán nincs és az edenit is alárendelt. Az egyéb paramétereket tekintve az IMA ajánlást követő kationszámolás esetében némileg nagyobb értéket kapunk az A-pozícióban lévő Na-ra (13CNK számolás Na_A-hoz képest 1,1–1,4-szoros értékek), a tetraéderes, illetve oktaéderes pozícióban lévő Al értéke viszont megközelítően azonos. Munkánkban a LEAKE et al. (1997) által javasolt módszert követtük, aminek előnye az is, hogy megegyezik a HOLLAND & BLUNDY-féle (1994) amfibol-plagioklász geotermométerben követett számolással is.

A csomádi horzsakövekben lévő amfibolok kémiai összetételének változékonysága nagy. Az Al_2O_3 tartalom például 5,59 t% és 13,74 t% között változik, amelyen belül két gyakorisági maximum figyelhető meg a 7–9 és 10–11 t% intervallumban. A tusnádfürdői amfibolokra általában a kisebb Al-tartalom jellemző, míg a többi feltárás amfiboljainak túlnyomó többsége 10–12 t% Al_2O_3-t tartalmaz. A nagy összetételbeli változékonyság sok esetben egy kristály esetében is megfigyelhető. Az Al_2O_3-tartalom akár 3–4 t% különbséget is mutathat, míg az MgO értékben 4–6 t% különbség is megfigyelhető. A változékonyságért különböző elemhelyettesítési mechanizmusok a felelősek, amit részben a különböző kristályosodási hőmérséklet, részben a nyomás szabályozott (*5. ábra*). Figyelemre méltó, hogy a tusnádfürdői minták következetesen eltérnek a többi feltárás horzsaköveiben lévő amfibolok trendjétől.

A vizsgált horzsakövekben viszonylag alárendelt mennyiségben (<5 tf%) jelennek meg csillámok. Ezek biotitok és flogopitok. Az MgO vs. TiO_2 diagramon a tusnádfürdői (Tf) és sepsibükkszádi (Bx) biotitok egyértelműen elkülönülnek a többi feltárás biotitjaitól (*6. ábra*).

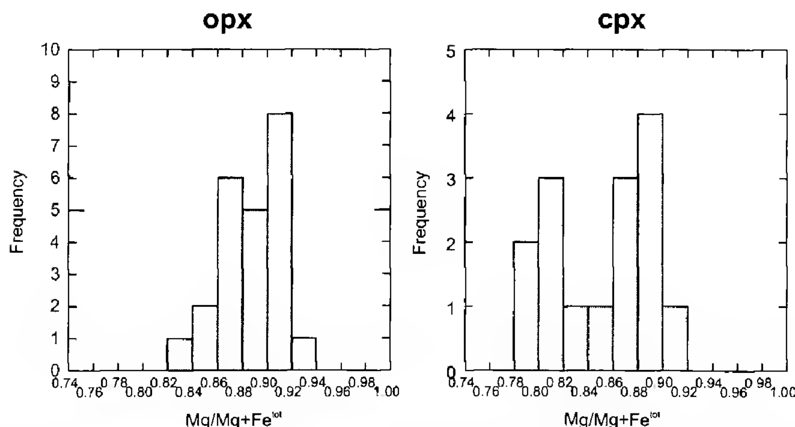
Piroxének önállóan nem jelennek meg a vizsgált horzsakövekben, azonban minden feltárás horzsakövében előfordulnak amfibolok kristálymagjában. A piroxének uralkodóan ortopiroxének, ezekre ránövekedésként klinopiroxén is megfigyelhető. A vizsgált adatsor alapján az ortopiroxének magnéziumban gazdagok, az IMA nevezéktan (MORIMOTO 1988; ROCK 1990) alapján ferroensztatitok. Az En-tartalom 84 és 89 mol% intervallumban változik, mg-számuk ($=Mg^{2+}/[Mg^{2+}+Fe_{tot}]$) 0,86–0,92 (*7. ábra*). A klinopiroxének a ferrodiopszid határhoz közel eső Mg-gazdag augitok. Az Al_2O_3-tartalmuk viszonylag alacsony (többnyire <3 t%) és ugyancsak szegények TiO_2-ban (TiO_2<0,4 t%). Feltűnő, hogy akárcsak az ortopiroxének



6. ábra. A csomádi horzsakövekben előforduló biotitok MgO/TiO_2 diagramja. A jelmagyarázatot l. az 5. ábrán.

Fig. 6 MgO vs. TiO_2 in the Ciomadul biotites. Explanation of the symbols can be found in Fig. 5.

Fig. 6. Diagrama MgO/TiO_2 din biotitele de la Munţii Ciomadul. Legenda vezi la Fig. 5



7. ábra. Az amfibol fenokristályokban megjelenő ortopiroxének (opx) és klinopiroxének (cpx) mg-szám ($Mg/Mg+Fe_{tot}$) változékonysága

Fig. 7 Frequency distribution of the mg-number of the orthopyroxenes and clinopyroxenes enclosed by amphibole phenocrysts

Fig. 7. Distribuţia numărului mg din ortopiroxeni şi din clinopiroxeni găsiţi în fenocristalele de amfibol

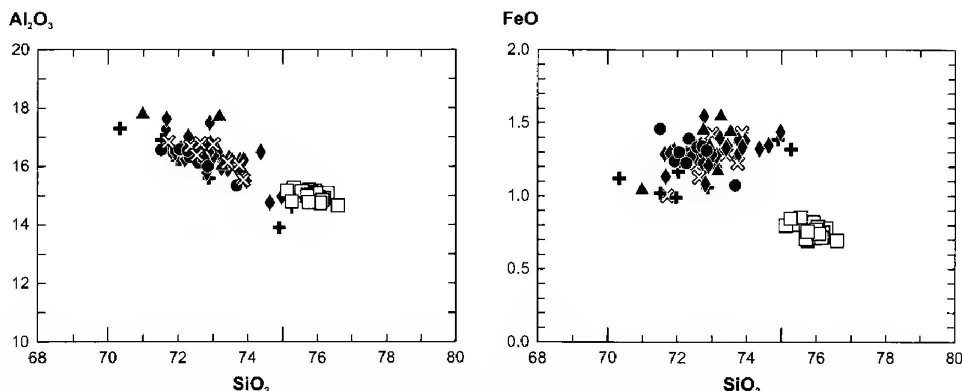
esetében, a klinopiroxének mg-száma is igen magas (mg-szám=0,88–0,90), bár előfordulnak 0,78–0,82 közötti értékek is (*7. ábra*).

Olivint a Bxu4/4 mintában, a sepsibükkszádi feltárás felső piroklasztár üledékének nagyméretű horzsakövében figyeltünk meg. Akárcsak a piroxének, az olivin is amfibol-kristály magjában jelenik meg. A két mért olivin forszterittartalma 79,44 és 82,24 mol%.

A horzsakövek kőzetkémiai vizsgálata

Kőzetüveg

A horzsakövek alapanyaga többnyire üde kőzetüvegből áll. A kőzetüvegek illótartalmát (ami nagy részben H_2O) az úgynevezett „különbség"-módszerrel (DEVINE et al. 1995) becsültük (100% és a mért oxid adatok összegének különbsége). Ez alapján a kőzetüvegek víztartalma túlnyomórészt 3,5 és 5 t% közötti. A tusnádfürdői alapanyag kőzetüvegek mind ide tartoznak, míg a többi feltárás horzsakövének kőzetüvegei nagyobb változékonyságot mutatnak. A további vizsgálatokhoz a főelem összetételi adatokat száraz állapotra, 100 t%-ra számoltuk át. A vizsgált kőzetüvegek SiO_2-tartalma 70 és 77 t% között változik, ami riolitos összetételnek felel meg. A különböző feltárások horzsaköveinek kőzetüvege kémiai összetételében hasonló, ettől csak a tusnádfürdői minták horzsaköve tér el. Ez utóbbi minták kőzetüvege jellemzően nagyobb SiO_2-tartalommal rendelkezik (SiO_2=75,1–76,5 t%) és eltér a többi kőzetüvegminta által kirajzolt összetételbeli trendektől (*8. ábra*). A kőzetüvegek K_2O/Na_2O aránya általában 1 és 2 közötti, azaz káli jellegűek. A fenokristályokban lévő szilikátolvadék zárványok kőzetüvegei általában jó hasonlóságot mutatnak a horzsakövek alapanyag üvegeinek összetételéhez, azaz feltehetően nem sokkal a vulkáni kitörés előtt záródhattak be véglegesen.



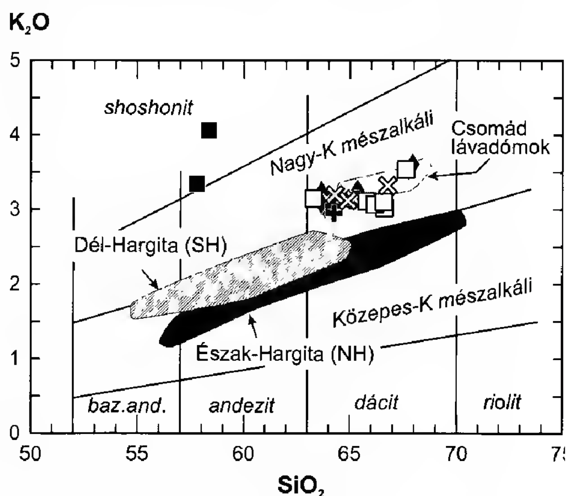
8. ábra. A csomádi horzsakövek alapanyag kőzetüvegének kémiai összetétele. A jelmagyarázatot az 5. ábra tartalmazza

Fig. 8. Major element composition of the matrix glasses of the Ciomadul pumices. Explanation of the symbols can be found in Fig. 5.

Fig. 8. Compoziţia chimică a matricei sticloase a pietrelor ponce din Munţii Ciomadul. Legenda vezi la Fig. 5

Teljes horzsakő minták

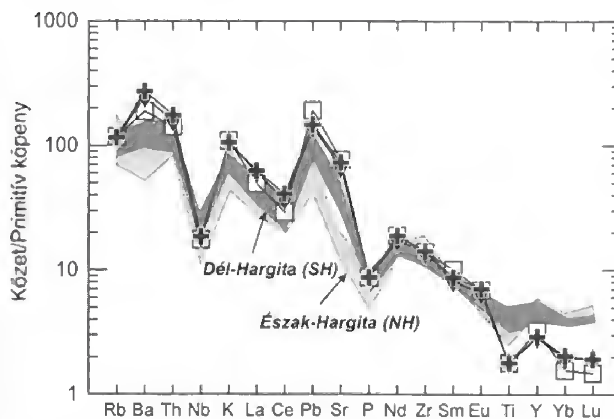
A csomádi horzsakövekről SZAKÁCS & SEGHEDI (1986) publikált először teljes kémiai összetételi adatokat. Rámutattak arra, hogy ezek jó hasonlóságot mutatnak a többi dél-hargitai vulkáni kőzettel és uralkodóan dácitok. Munkánk során minden feltárásból több egyedi horzsakőmintát is vettünk, amelynek meghatároztuk főelem- és nyomelem-összetételét. A vizsgált horzsakövek illótartalma (LOI) 0,5 és 4 t% között változik. Ezek közül kivételt csak a fehérmartoki (Fm) minta jelenti,



9. ábra. A csomádi horzsakövek osztályozása a SiO_2/K_2O diagram alapján (GILL 1981). Összehasonlításképpen feltüntettük az Észak- és Dél-Hargita mészalkáli vulkáni kőzeteinek, a Málnás–Bükkszád shoshonitjainak, valamint a csomádi lávadóm kőzetek (MASON et al. 1996) összetételeit is. A jelmagyarázatot az 5. ábra tartalmazza

Fig. 9 Classification of the Ciomadul pumices based on the SiO_2 and K_2O contents (GILL 1981). For comparison the compositional variations of the Northern (NH) and Southern Harghita (SH) calc-alkaline volcanic rocks, the Malnaş–Bicsad shosonites and the Ciomadul lava dome rocks (MASON et al. 1996) are also indicated. Explanation of the symbols can be found in Fig. 5

Fig. 9. Clasificarea pietrelor ponce din Munţii Ciomadul pe baza diagramei SiO_2/K_2O (GILL 1981). Pentru comparaţie s-a indicat pe diagramă compoziţia chimică atât a vulcanitelor calco-alcaline din Munţii Harghita Nord şi Sud, precum şi a shoshonitelor Malnaş–Bicsad, cât şi a domurilor de lavă din Munţii Ciomadul (MASON et al. 1996). Legenda vezi la Fig. 5



10. ábra. A csomádi horzsakövek primitív köpeny összetételre (McDONOUGH & SUN 1995) normált nyomelem eloszlása. Összehasonlításként feltüntettük az Észak- és Dél-Hargita mészalkáli vulkáni kőzeteinek (MASON et al. 1996) nyomelem-eloszlási változékonyságát is. A jelmagyarázatot az 5. ábra tartalmazza.

Fig. 10 Primitive mantle (McDONOUGH & SUN 1995) normalized trace element patterns of the Ciomadul pumices. For comparison the trace element compositional variations of the Northern (NH) and Southern Harghita (SH) calc-alkaline volcanic rocks (MASON et al. 1996) are also indicated. Explanation of the symbols can be found in Fig. 5

Fig. 10. Distribuţia normalizată a elementelor minore a compozitiei mantalei primitive (McDONOUGH & SUN 1995). Pentru comparaţie s-a indicat distribuţia elementelor minore a vulcanitelor calco-alcaline ale Munţilor Harghitei de Nord şi Sud (MASON et al. 1996). Legenda vezi la Fig. 5

amelynek izzítási vesztesége a 6 t%-ot is elérte. A horzsakövek kémiai összetételük alapján kivétel nélkül nagy K-tartalmú dácitok (*9. ábra*). Összetételük egyértelműen elkülönül az Észak-Hargita vulkáni kőzetei (MASON et al. 1996) által kirajzolt trendtől, de különböznek a Dél-Hargita (MASON et al. 1996) pliocén vulkáni kőzeteitől is. Ugyanakkor geokémiailag nem különíthetők el a csomádi lávadómkőzetektől (Bálványos, Köves-Ponk és Kis-Haram lávadómok; MASON et al. 1996).

A csomádi horzsakövek nyomelem-összetétele alapvetően hasonló egymáshoz, a tusnádfürdői mintákban azonban jellemzően kisebb az inkompatibilis nyomelem koncentráció (*10. ábra*). A nyomelem eloszlási görbék legfontosabb jellemzői az erősen inkompatibilis, vízben mobilis, nagy ionsugarú litofil elemekben (Rb, Ba, Sr) való gazdagodás, a negatív Nb-anomália és a pozitív Pb-anomália. Hasonló geokémiai tulajdonságokat mutatott ki korábban SEGHEDI et al. (1986; 1987) is. Ezek a sajátosságok tipikusan a szubdukciós zónák magmás kőzeteire jellemzőek. Összehasonlítva a csomádi horzsakövek nyomelemgörbéit a Hargita vonulat andezit és dácit mintáival (MASON et al. 1996), a következőket állapíthatjuk meg: A görbék lefutásának általános jellege azonos („szubdukciós" jelleg), azonban jellemző különbségeket is észlelhetünk. A csomádi horzsakövekben kiemelkedően nagyobb a Ba- és a Sr-koncentráció és magasabb a K-tartalom is. A másik fő különbség, hogy a csomádi horzsakövek jellemzően alacsony ittrium és nehéz ritkaföldfém (NRFF) koncentrációt mutatnak. Mindez összhangban van SEGHEDI et al. (1986; 1987) és SZAKÁCS et al. (1993) megállapításával, miszerint a Dél-Hargita vonulata mentén délkelet felé fokozatos geokémiai változás mutatható ki.

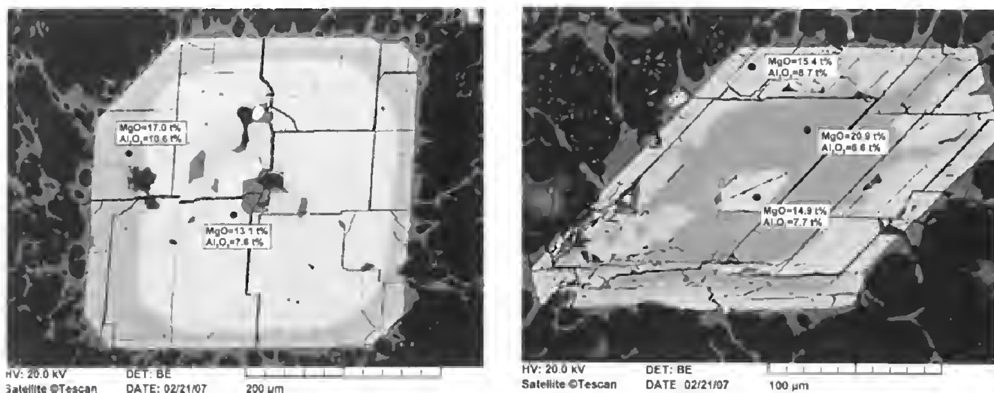
Az ásvány- és kőzetkémiai adatok értelmezése

A Csomád robbanásos vulkáni működése két nagyobb kitörési szakaszra bontható, ami a Mohos- és a Szt. Anna-krátereket hozta létre. Az utóbbi, fiatalabb

kitörés terméke a szénizotóp kormeghatározás adatok alapján a tusnádfürdői és a sepsibükszádi horzsaköves piroklasztár-üledék és a kapcsolódó torlóár és szórt üledékek. A többi feltárás horzsaköves képződményeinek eredete azonban bizonytalan. A fizikai vulkanológiai jellegek nagyon hasonlóak. Csupán a románpusztai feltárás, egy egykori blokkbecsapódás nyoma utal egy esetleges mohosi eredetre. A kőzettani és geokémiai vizsgálatok ebből a szempontból nem hoztak új eredményt. A tusnádfürdői képződmény egyértelműen elkülönül a többi feltárás horzsaköveitől. A sepsibükszádi horzsakövek, amelyek feltehetően szintén a Szt. Anna kitörés termékei, azonban nem mutatnak hasonlóságot a tusnádfürdői mintákkal. Ez alól csak a biotitok összetétele a kivétel (*6. ábra*). Meg kell azonban jegyeznünk, hogy előzetes vizsgálataink szerint a horzsakövek többségének geokémiai jellege szinte teljesen megegyezik az idősebb lávadómkőzetek tulajdonságaival is. A kitörő magmák tehát viszonylag homogén összetételbeli sajátságúak voltak közel 1 millió éven keresztül. Ez arra utalhat, hogy nem fejlődött ki hosszú életű sekély magmakamra, ahol a differenciációs folyamatok eltérő összetételű egységeket hozhatnak létre, hanem a mélyből viszonylag gyorsan törtek fel és kerültek felszínre önálló magmacsomagok. A gyors felemelkedésre utalhat az is, hogy az amfibol fenokristályok többsége körül nem figyelhető meg opacitos reakciószegély, ami a nyomáscsökkenés következtében alakul ki (RUTHERFORD & HILL 1993; BROWNE & GARDNER 2006). Emiatt, az egyedi vulkáni kitörésekhez kapcsolódó vulkáni képződmények geokémiailag nem különíthetők el. Fontos megjegyezni azt is, hogy a horzsakövek amfibol fenokristályaiban felismert piroxén- és olivinkristályok megtalálhatók az idősebb lávadómkőzetekben is, sőt ott önálló kristályokként is megjelennek (LAZAR & ARGHIR 1964, SZAKÁCS & SEGHEDI 1986). Mindezt azzal magyarázhatjuk, hogy a mélyben hosszú időn keresztül hasonló magmagenetikai folyamatok játszódtak, amelyek kevéssé módosultak a magma felemelkedése során. Mindezek alapján geokémiailag nemcsak a feltételezhető két nagyobb robbanásos vulkáni kitörés képződményei nem különíthetők el, hanem a horzsakövek kőzettani és geokémiai tulajdonságokban nem különböznek lényegesen a lávadómkőzetektől sem.

Kristályosodási körülmények

A csomádi horzsakövek fő ásványfázisai a plagioklász és az amfibol. Mindkét ásvány kémiai összetételét érzékenyen befolyásolják a kristályosodás fizikai körülményei, azaz a hőmérséklet, a nyomás, az oxigénfugacitás és a magma víztartalma. Az amfibol fenokristályok változatos összetételbeli zónásságot mutatnak (*11. ábra*). A zónásság többnyire a MgO koncentrációban mutat változást, esetenként azonban ez az Al_2O_3 változásával társul. A inverz zónás amfibol esetében a megnövekvő MgO és Al_2O_3-tartalom jelezheti azt, hogy egy nagyobb hőmérsékletű mafikus olvadék nyomult a magmakamrába (pl. fehérmartoki amfibol; *11. ábra*). A tusnádfürdői oszcillációs zónás amfibol (*11. ábra*) esetében szintén mafikus magma benyomulással magyarázhatjuk a jelentős, mintegy 6 t%-os MgO emelkedést, azonban ebben az esetben ezt nem kíséri Al-változás (hiányzó hőmérséklet különbség?). Az amfibolok kémiai összetételének változása tükrözi a fizikai paraméterekben való változást. A tetraéderes Al pozitív korrelációja az A-pozícióban lévő Na- és K-tartalommal, a Ti-tartalommal, valamint az oktaéderes Al-mal azt jelzi, hogy mind a



11. ábra. Amfibol fenokristályok visszaszórt elektronképei: inverz és oszcillációs zónás kristályok kémiai összetétel-változása. Balra: Fehérmartok horzsakő, jobbra Tusnádfürdő horzsakő amfibolja

Fig. 11 Back-scattered images of amphibole phenocrysts: compositional variation of reverse and oscillatory zoned crystals. Left: Fehérmartok locality, right: Tusnádfürdő locality

Fig. 11. Imagini „back-scattered" ale fenocristalelor de amfiboli: variaţii compoziţionale ale cristalelor zonate invers- şi de oscilatoriu

hőmérséklet-, mind a nyomásváltozás befolyásolta az amfibolok kémiai összetételét (5. *ábra*). Az edenit és Ti-tschermakit helyettesítés hőmérséklet-függő, míg az Al-tschermakit helyettesítés nyomásfüggő (SPEAR 1981; JOHNSON & RUTHERFORD 1989; HOLLAND & BLUNDY 1994; BACHMANN& DUNGAN 2002). JOHNSON & RUTHERFORD (1989) kísérletei szerint például 0,7 értékű növekedés a tetraéderes és oktaéderes Al-ban megfelel a nyomás 2 kbar-ról 8 kbar-ra való emelkedésének. Az Al-tartalmat azonban emellett az oxigénfugacitás is befolyásolhatja (SCAILLET & EVANS 1999). A viszonylag magas össz Al-tartalom a csomádi amfibolokban azt jelzi, hogy viszonylag nagy hőmérsékleten és/vagy nagy nyomáson történhetett a kristályosodásuk. Mindeközben mafikus magmabenyomulások mehettek végbe, amelyek az amfibolok inverz és oszcillációs zónásságát okozták.

A kristályosodási hőmérséklet becslésére a HOLLAND & BLUNDY (1994) által javasolt amfibol-plagioklász geotermométert használtuk. A plagioklászok kémiai összetétele viszonylag homogén annak ellenére, hogy gyakoriak a nem egyensúlyi körülményekre utaló szöveti bélyegek, mint például a szivacsos szövet. SISSON & GROVE (1993) szerint a plagioklászok Ca/Na aránya egyensúlyi viszonyok között az olvadék Ca/Na-arányától és víztartalmától függ. Kísérletileg meghatározott, különböző $K_D^{Ca/Na}$ értékekkel ($K_D^{Ca/Na} = [X_{Ca}^{plag} X_{Na}^{olv}]/[X_{Ca}^{olv} X_{Na}^{plag}]$; SISSON & GROVE 1993) kiszámoltuk az egyensúlyi olvadék Ca/Na arányát. A $K_D^{Ca/Na} = 3{,}4$ érték esetében az egyensúlyi olvadék Ca/Na arány jó egyezést mutatott a horzsakövek alapanyag kőzetüvegeinek Ca/Na arányával. Ez az érték 4 tf% vizet feltételez a magmában (SISSON & GROVE 1993). RUTHERFORD & DEVINE (1988) kísérletei szerint az amfibolok kristályosodásához kb. 4 tf% jelenléte szükséges, így a számoláshoz használt $K_D^{Ca/Na}$ érték reálisnak tűnik és ez alapján a plagioklászok egyensúlyban vannak a horzsakövek kőzetüvege által képviselt olvadékkal. Az uralkodó plagioklász összetétel 45 mol% An-tartalom, míg a tusnádfürdői plagioklászok

esetében az An-tartalom 20–35 mol% (*4. ábra*). Nem ritka az amfibol és a plagioklász összenövése, ami megerősíti, hogy kristályosodásuk egyszerre történhetett. HOLLAND & BLUNDY (1994) két egyenletet is megadott a hőmérséklet becslésére. Az edenit-tremolit (T_{et}) geotermométer szilíciumban telített körülmények között alkalmazható, míg az edenit-richterit (T_{er}) geotermométer Si-telítetlen esetben is használható. A T_{et} geotermométer általában 40–50 °C értékkel nagyobb hőmérsékletet ad, mint a T_{er} geotermométer. A csomádi horzsakövekben nem találtunk kvarcot, azonban a kőzetüveg riolitos, azaz elképzelhető, hogy a kvarc kristályosodását a gyors erupció akadályozta meg. Ezért úgy véljük, hogy esetünkben a T_{et} geotermométer eredménye közelítheti meg a kristályosodási hőmérsékletet. A feltárások többsége esetében nagyon hasonló hőmérséklet értékeket kaptunk, amelyek 815 és 834 °C között változtak (feltárásonként a kapott hőmérséklet értékszórása ±20–28 °C). A tusnádfürdői amfibol és plagioklász párokra azonban ennél szignifikánsan alacsonyabb hőmérséklet adatokat kaptunk (741±28 °C). Mindezek alapján, figyelembe véve a teljes kőzet és kőzetüveg összetételbeli különbségeket is, úgy véljük, hogy a tusnádfürdői horzsaköveket eredményező kitörés magmája differenciáltabb lehetett a többi horzsakő magmájához képest és a kristályosodás alacsonyabb hőmérsékleten zajlott.

A kristályosodás nyomására becslést csak nagy bizonytalansággal adhatunk annak ellenére, hogy kísérletileg bizonyított, hogy az amfibolok Al-tartalma érzékenyen függ a nyomástól (HAMMARSTROM & ZEN 1986). A publikált geobarométerek kalibrációja azonban csak meghatározott ásványegyüttesek jelenlétére vonatkozik. A csomádi horzsakövekben ezek közül megjelenik az amfibol, plagioklász, a biotit és a titanit, azonban hiányzik a káliföldpát, a kvarc és a magnetit/ilmenit. A horzsakövek kálium-gazdag riolitos összetétele azonban azt sejteti, hogy lassúbb kristályosodás esetében akár kvarc és káliföldpát is kiválhatott volna. Alkalmazva JOHNSON & RUTHERFORD (1989) geobarométer-kalibrációját az amfibolok többsége esetében (Al_2O_3=10–11 t%) 4,1–4,4 kbar nyomásértéket, míg a tusnádfürdői amfibolok esetében 2,9±0,8 kbar nyomást kapunk. Mindez összhangban áll az előbbi következtetéssel, miszerint a tusnádfürdői magma kristályosodása kisebb nyomáson (sekélyebb mélységben, ca. 5–6 km mélységben) és hőmérsékleten egy differenciáltabb olvadékból történhetett, míg a többi esetben a kristályosodás viszonylag nagy nyomáson (10–12 km mélységben) és hőmérsékleten zajlott.

A geokémiai vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a tusnádfürdői horzsakövek differenciáltabb magmát képviselhetnek a többi feltárás horzsaköveihez képest. Ugyanakkor, az erősen inkompatibilis nyomelemekben (pl. La, Th, Nb, Zr) ezek a horzsakövek szegényebbek. Ez a geokémiai változás ugyanannak a magmának a frakcionációs kristályosodása esetén csak akkor magyarázható, ha a kristályosodásban jelentős szerepet kaptak olyan járulékos ásványok is, mint a cirkon és az allanit.

Cirkon kristályok valóban előfordulnak a horzsakövekben, allanitot, amely nagymértékben elvonhatja az olvadék könnyű ritkaföldfém tartalmát, nem találtunk. Ugyanakkor, titanit gyakori e kőzetekben. Sajnos, a szakirodalomban kevés adatot találunk nyomelemek titanitra vonatkozó megoszlási együtthatójára (GREEN & PEARSON 1983, LYNTON et al. 1993). Bár ezekből kitűnik, hogy a titanit felhalmozza a ritkaföldfémeket, a legnagyobb mértékben azonban a közepes tömegszámú ritkaföldfém elemeket. Ezzel szemben a tusnádfürdői horzsakövek Sm- és Eu-koncent-

rációja nem különbözik lényegesen a többi horzsakőétől. Mindezek alapján nem látjuk bizonyítottnak, hogy a tusnádfürdői horzsakő magmája a többi horzsakő által képviselt magmából differenciálódott. Mindez megerősítheti, hogy a csomádi vulkáni kitöréseket tápláló magmák önálló magmacsomagok, amelyek a földkéreg mélyebb részein szegregálódtak és okoztak egyedi vulkáni kitöréseket. E gondolatmenet alapján a legfiatalabb, Szt. Anna kitörés esetében is akár több magmacsomag elérhette el a felszínt és okozott kitörést, amivel a közel azonos korú tusnádfürdői és sepsibükkszádi horzsaköves piroklasztitok eltérő kémiai összetétele magyarázható.

A piroxén xenokristályok eredete

A csomádi horzsakövek egyik különlegessége, hogy az amfibol fenokristályok nagy MgO-tartalmú piroxéneket tartalmaznak. Ezek többsége ortopiroxén (ferroensztatit), amelyek körül esetentént klinopiroxén (Mg-gazdag augit) is kristályosodott. Ez az ásványegyüttes arra utal, hogy a magmafejlődés során a korábban kristályosodott piroxénkristályok egy vízben gazdagabb magmába kerülhettek, ahol reakcióba léptek a környező olvadékkal, amelyből amfibol vált ki. A mafikus ásványok, mint például a piroxének és az olivin összetételét adott hőmérsékleten és nyomáson a magma kémiai összetétele határozza meg. A kísérleti vizsgálatok alapján a Fe-Mg megoszlása a kristályosodó mafikus szilikátásvány (pl. olivin, piroxének) és a vele egyensúlyban levő olvadék között állandó és meghatározható (ROEDER & EMSLIE 1970; GROVE et al. 1997). A kísérletileg meghatározott megoszlási együtthatók segítségével vizsgálható, hogy a csomádi horzsakövekben előforduló ásványfázisok milyen összetételű magmával voltak kémiai egyensúlyban. A piroxének többsége magas, 0,88-0,91 mg-számmal rendelkezik, ami a felsőköpenyben lévő ultramafikus kőzetekben lévő, vagy bazaltos magmákból a kristályosodás kezdetén kiváló ásványokra jellemző. Az ortopiroxének Fe/Mg arányából és a kísérletileg meghatározott $K_D^{Fe\text{-}Mg}$ ($[X_{Fe}^{ortopiroxén} X_{Mg}^{olvadék}]/[X_{Fe}^{olvadék} X_{Mg}^{ortopiroxén}] = 0{,}27$; GROVE et al. 1997) értékéből számolva az egyensúlyt tartó olvadék várt Fe/Mg aránya 0,3–0,7 közötti, ami 0,65–0,75 közötti mg-értéknek felel meg. A klinopiroxének esetében nagyobb összetételbeli változékonyságot tapasztaltunk (7. *ábra*). A kisebb mg-értékű klinopiroxénekkel egyensúlyt tartó olvadék mg-értéke 0,46–0,50, míg a Mg-gazdag fázisokkal egyensúlyt tartó olvadék számolt mg-értéke 0,63-0,68. Az egyedüli olivinkristály esetében 0,52–0,57 mg-értékű olvadékot kaptunk.

Mindezek alapján az a következtetés vonható le, hogy az ortopiroxének vagy egy primitív mafikus magmából kristályosodtak ki vagy a földköpenyből felkapott xenokristály darabok. Az ortopiroxének magas Mg-, valamint alacsony Al-tartalomúak. E jelleg a felsőköpenyben lévő, erősen kimerült peridotitok (harzburgitok) ortopiroxénjeire jellemzők (ARAI & KIDA 2000; MELCHER et al. 2002; FRANZ et al. 2002). Ezen jellegzetes ortopiroxéneket tartalmazó peridotitok a szerzők szerint egy erősen kimerült MORB összetételű köpenyanyagból származhatnak, ami utólagosan, szubdukcióhoz kötött metaszomatózis következtében átalakult az alábukó lemez feletti köpenyékben. Az ortopiroxének ebben az esetben a harzburgit olivinjeinek SiO_2-gazdag olvadékkal való reakciójából származnak (MELCHER et al. 2002; MORISHITA et al. 2003). A Csomád közelében, a Persány hegység 0,6–1,2 millió éves bazaltjaiban gyakoriak a peridotit zárványok (VASELLI et al. 1995). Ezek között

azonban nem található olyan összetételű ortopiroxén, ami a csomádi amfibolokban lévő kristályokra hasonlít. Azonban nem zárhatjuk ki teljes bizonysággal, hogy a csomádi Mg-gazdag ortopiroxének felsőköpeny-eredetű xenokristályok lehetnek, amelyeket köpenyeredetű mafikus magma ragadott magával. Elképzelhető az is, hogy magából a részlegesen megolvadt litoszféraköpenyből származnak. Ezt a köpenyrészt azonban nem mintázta meg a Persány hegység bazaltos magmája. Az ortopiroxén kristályokra klinopiroxén kristályosodott még nagy mélységben, majd a magmakamrában a megváltozott körülmények között ezek kristályosodási magját képezték a ránövekedő amfiboloknak. Megőrződésük oka az lehetett, hogy a sekélyebb magmakamrában csak viszonylag rövid ideig tartózkodott a magma.

Az ortopiroxének keletkezésének másik magyarázata az lehet, hogy ezek a kristályok egy primitív olvadékból kristályosodtak ki. Ilyen nagy mg-értékű ortopiroxént adakitos jellegű, Mg-gazdag andezitekből írtak le (pl. Mt. Shasta, USA; GROVE et al. 2003, 2005; Shodo-Shima, Japán; TATSUMI et al. 2002). Adakitos-jellegű petrogenezist SEGHEDI et al. (2004) javasolt a dél-hargitai vulkanizmus esetében, ami nézetük szerint összhangban van a kőzetek magas Sr/Y arányával és alacsony nehéz ritkaföldfém koncentrációjával. Az alábukó óceáni lemez olvadását a lemezletörés következtében felnyomuló forró asztenoszféra hatásával magyarázták. E modellnek azonban ellentmond az, hogy a geofizikai adatok alapján a Vráncsa térség alatt található a közel függőleges kőzetlemez, ami jelenleg is a leszakadás állapotában van, azaz még nem vált le (SPERNER et al. 2001, 2004). Az alábukó lemez szélének megolvadása a hátragördülés miatt meginduló asztenoszféra-áramlás (SZAKÁCS et al. 1993) szintén okozhat adakitos magmaképződést (pl. YOGODZINSKI et al. 2001), azonban megint csak kérdés, hogy térbelileg hogyan kerülhet a Csomád alá a keletkező magma? E kérdésnek a tisztázása túlnyúl e munka keretein és további részletes vizsgálatokat igényel.

Az ortopiroxénekkel szemben a klinopiroxének és az olivin egyértelműen magmás ásványok, azaz a magmafejlődés egy korábbi szakaszában, egy mafikus olvadékból váltak ki. Mindez közvetetten is jelzi, hogy a csomádi magmafejlődésben szerepe lehetett köpenyeredetű mafikus magmáknak. Ezek a magmák azonban nem törtek a felszínre, hanem elképzelhető, hogy megakadtak a vastag földkéreg alatt és ott részleges olvadást idéztek elő. A kéregolvadás, mafikus magmával való keveredés, homogenizáció, majd szakaszos felszínre törés modellje (cf. MASH folyamat; HILDRETH & MOORBATH 1988) több jellegzetességet magyarázhat a csomádi vulkanizmusban (pl. hosszú idejű homogén kémiai összetétel, Mg-gazdag mafikus ásványok jelenléte, dácitos magma), azonban ennek részletes magyarázata, illetve tesztelése további vizsgálatokat igényel, különösen a lávadómkőzetek bevonásával.

Következtetések

Munkánk során részletesen vizsgáltuk a Kárpát–Pannon térség legfiatalabb vulkáni képződményeit, a csomádi horzsaköveket. A kőzettani és geokémiai vizsgálatok számos egyedi jelleget tártak fel, amelyek közül az amfibol fenokristályokba zárt Mg-gazdag piroxének jelenlétét tartjuk a leglényegesebbnek. Hasonló előfordulásról nem ismerünk a szakirodalomban. Ezek a kristályok a litoszféraköpenyből felragadott kristálydarabkák lehetnek vagy mafikus magmából korai kiválású fázisok. Ez

utóbbi esetben elképzelhető, hogy a csomádi magmatizmusban szerepet játszhattak adakitos, nagy-Mg tartalmú andezites olvadékok is (SEGHEDI et al. 2004), ez azonban úgy tűnik nincs összhangban a mélygeofizikai adatokkal és értelmezéssel (SPERNER et al. 2001, 2004). Ezek az ásványfázisok azt jelzik, hogy mafikus magmáknak is szerepe volt a csomádi magmafejlődésben. Az ásványfázis-összetételek arra utalnak, hogy a kristályosodás viszonylag nagy mélységben (10–12 km?) és magas hőmérsékleten (>800 °C) zajlott, a kristályosodást esetenként újabb magmaadag benyomulása szakította meg. Ettől némileg eltérő fejlődési modellel magyarázható a tusnádfürdői horzsaköves piroklasztit magmájának petrogenezise. Ez az olvadék differenciáltabb a többihez képest, a kristályosodás sekélyebb mélységben (5–6 km?) és alacsonyabb hőmérsékleten (<750 °C) zajlott. A különböző magmák között nem találtunk frakcionációs kristályosodási genetikai kapcsolatot. Feltételezzük, hogy a magmafejlődés színtere a földkéreg mélyebb részein lehetett, ahonnan egyedi magmacsomagok érkezhettek a felszínre. A meglévő adatok alapján feltételezzük, hogy köpenyeredetű mafikus magmák olvadást idézhettek elő a Csomád alatti vastag földkéreg alsó részén, ahol a két magma keveredhet, hibridizálódhat egymással, létrehozva a Csomád viszonylag homogén dácitos magmáját. A geofizikai adatok összhangban lehetnek ezzel a modellel, hiszen 50–70 km mélységben egy csökkent szeizmikus sebességű övet mutattak ki (HAUSER et al. 2001; POPA et al. 2005; RUSSO et al. 2005).

Vizsgálataink továbbá felfedték, hogy a tusnádfürdői piroklasztit mellett feltehetően a a sepsibükkszádi horzsaköves piroklasztit is a Szt. Anna kitöréshez kapcsolódik, amelynek kora szénizotópos viszgálataink alapján 27 000 BP év körüli. Mindez arra utal, hogy ebben az időszakban akár több magmacsomag is elérhette a felszínt, azaz több kitörési esemény is végbemehetett. A kitörések freatomagmás jellegűek voltak, amelynek nyomán, piroklasztszórás mellett, nagy hőmérsékletű piroklasztárak és torlóárak zúdultak le, amit piroklaszszórás kísért.

A csomádi horzsakövek tanulmányozása, elsősorban a petrográfiai és az ásványkémiai vizsgálatok számos új eredményt hoztak, ami alapján körvonalazható a magmafejlődés fő mozzanatai. Mivel a Csomád a Kárpát–Pannon térség legfiatalabb tűzhányója, ahol a legutolsó vulkáni kitörések mintegy 20–30 ezer éve történtek közel 1 millió éves működési szakaszban, fontos megértenünk e magmatizmus okát és mechanizmusát. Azonban ahhoz, hogy a kapott adatok alapján felvetődő elképzeléseket megerősítsük vagy esetleg, bizonyos pontokon módosítsuk, további részletes kutatások szükségesek.

Köszönetnyilvánítás

E munka VINKLER A. P. tudományos diákköri kutatásain alapul. A kutatómunkát és a tanulmányutakat az ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszéken az Agora Alapítvány 2003-, 2004-, 2005-ös ösztöndíjai támogatták. A Csomád vulkáni képződményeinek vizsgálatát a Magyar–Osztrák Akció Alapítvány 57öu2 és 61öu8 sz. bilaterális kutatási pályázatai tették lehetővé. Köszönettel tartozunk Peter NAGLnek a röntgenfluoreszcens spektrometriai vizsgálatok elvégzéséért, továbbá LUKÁCS Réka és Ioan SEGHEDI terepen nyújtott segítségéért. MOLNÁR Mihálynak a szénizotópmérésben nyújtott segítségét köszönjük. DOBOSI Gábor és ZELENKA Tibor kritikai észrevételei segítettek a tanulmány végleges változatának elkészítésében.

Irodalom – References

ARAI, S. & KIDA, M. 2000: Origin of fine-grained peridotite xenoliths form Iraya volcano of Batan Island, Philippines: Deserpentinization or metasomatism at the wedge mantle beneath an incipient arc? – *Island Arc* **9**, 458–471.

BACHMANN, O. & DUNGAN, M. A. 2002: Temperature-induced Al-zoning in hornblendes of the Fish Canyon magma, Colorado. – *American Mineralogist* **87**, 1062–1076.

BÁNYAI, J. 1917: Kézdivásárhely vidéke Háromszék vármegyében. – *Földtani Közlöny* **47**, 1–20.

BLEAHU, M., BOCCALETTI, M., MANETTI, P. & PELTZ, S. 1973: The Carpathian arc: A continental arc displaying the features of an "island arc". – *Journal of Geophysical Research* **78**, 5025–5032.

BOCCALETTI, M., MANETTI, P., PECCERILLO, A. & PELTZ, S. 1973: Young volcanism in the Calimani-Harghita mountains (East Carpathians): Evidence of a paleoseismic zone. – *Tectonophysics* **19**, 299–313.

BROWNE, B. L. & GARDNER, J. E. 2006: The influence of magma ascent path on the texture, mineralogy, and formation of hornblende reaction rims. – *Earth and Planetary Science Letters* **246**, 161–176.

CHALOT-PRAT, F. & GÎRBACEA, R. 2000: Partial delamination of continental mantle lithosphere, uplift-related crust-mantle decoupling, volcanism and basin formation: a new model for the Pliocene–Quaternary evolution of the southern East-Carpathians, Romania. – *Tectonophysics* **327**, 83–107.

CLOETHING, S. A. P .L., BUROV, E., MATENCO, L., TOUSSAINT, G., BERTOTTI, G., ANDRIESSEN, P. A. M., WORTEL, M. J. R. & SPAKMAN, W. 2004: Thermo-mechanical controls on the mode of continental collision in the SE Carpathians (Romania). – *Earth and Planetary Science Letters* **218**, 57–76.

DEVINE, J. D., GARDNER, J. E., BRACK, H. P., LAYNE, G. D. & RUTHERFORD, M. J. 1995: Comparison of microanalytical methods for estimating H_2O contents of silicic volcanic glasses. – *American Mineralogist* **80**, 319–328.

DOWNES, H., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., DOBOSI, G., JAMES, D. E., VASELLI, O., RIGBY, I. J., INGRAM, G. A., REX, D. & PÉCSKAY, Z. 1995: Petrology and geochemistry of late Tertiary/Quaternary mafic alkaline volcanism in Romania. – *Lithos* **35**, 65–81.

FRANZ, L., BECKER, K.-L., KRAMER, W. & HERZIG, P. M. 2002: Metasomatic mantle xenoliths from the Bismarck microplate (Papua New Guinea) – Thermal evolution, geochemistry and extent of slab-induced metasomatism. – *Journal of Petrology* **43**, 315–343.

GILL, J. B., 1981: Orogenic andesites and plate tectonics. Springer, Berlin, 390 p.

GÎRBACEA, R. & FRISCH, W. 1998: Slab in the wrong place: Lower lithospheric mantle delamination in the last stage of Eastern Carpathians subduction retreat. – *Geology* **26**, 611–614.

GREEN, T. H. & PEARSON, N. 1983: Effect of pressure on rare earth element partition coefficients in common magmas. – *Nature* **305**, 414–416.

GROVE, T. L., DONNELLY-NOLAN, J. M. & HOUSH, T. 1997: Magmatic processes that generated the rhyolite of Glass Mountain, Medicine Lake volcano, N. California. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **127**, 205–223.

GROVE, T. L., ELKINS-TANTON, L.T., PARMAN, S. W., CHATTERJEE, N., MÜNTENER, O. & GAETANI, G. A. 2003: Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **145**, 515–533.

GROVE, T. L., BAKER, M.B., PRICE, R.C., PARMAN, S.W., ELKINS-TANTON, L.T., CHATTERJEE, N. & MÜNTENER, O. 2005: Magnesian andesite and dacite lavas from Mt. Shasta, northern California: Products of fractional crystallization of H_2O-rich mantle melts. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **148**, 542–565.

GVIRTZMAN, Z. 2002: Partial detachment of a lithospheric root under the southeast Carpathians: Toward a better definition of the detachment concept. – *Geology* **30**, 51–54.

HALAMA, R., BOUDON, G., VILLEMANT, B., JORON, J.-L., LE FRIANT, A. & KOMOROWSKY, J.-C. 2006: Pre-eruptive crystallization conditions of mafic and silicic magmas at the Plat Pays volcanic complex, Dominica (Lesser Antilles). – *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **153**, 200–220.

HAMMARSTROM, J. M. & ZEN, E. 1986: Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. – *American Mineralogist* **71**, 1297–1313.

HARANGI, S. 2001: Neogene to Quaternary Volcanism of the Carpathian–Pannonian Region – a review. – *Acta Geologica Hungarica* **44**, 223–258.

HAUSER, F., RAILEANU, V., FIELITZ, W., BALA, A., PRODEHL, C., POLONIC, G. & SCHULZE, A. 2001: VRANCEA99–The crustal structure beneath the Southeastern Carpathians and the Moesian platform from a seismic refraction profile in Romania. – *Tectonophysics* **340**, 233–256.

HERMANN, M. & VARGA, S., 1950. Tusnádfürdő környéki andezitek. – FÖLDTANI KÖZLÖNY 80, 1–3.

HIBBARD, M. J., 1995: Petrography to petrogenesis. – Pentrice-Hall, 608 p.

HILDRETH, W. & MOORBATH, S. 1988: Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. – *Contributions to Mineralogy & Petrology* **98**, 455–489.

HOLLAND, T. & BLUNDY, J. 1994: Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. – *Contributions to Mineralogy & Petrology* **116**, 433–447.

JOHNSON, M. C. & RUTHERFORD, M. J. 1989: Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application of Long Valley caldera (California) volcanic rocks. – *Geology* **17**, 837–841.

JUVIGNE, E., GEWELT, M., GILOT, E., HURTGEN, C., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., GÁBRIS, G., HADNAGY, Á. & HORVÁTH, E. 1994: Une eruption vieille d'environ 10 700 ans (14C) dans les Carpates orientales (Roumanie). – *C. R. Acad. Sci. Paris* **318**, 1233–1238.

LAZAR, A. & ARGHIR, A. 1964. Studiul geologic si petrografic al eruptivului neogen din partea de sud a Munilor Harghita. – *D. S. Com. Geol.* 50, 87–101

LEAKE, B. E., WOOLLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J. D., HAWTHORNE, F. C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J. A., MARESCH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C. N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W. & YOUZHI, G. 1997: Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. – *American Mineralogist* **82**, 1019–1037.

LINTHON, S. J., CANDELA, P. A. & PICCOLI, P. M. 1993: An experimental study of the partitioning of copper between pyrrhotite and a high silica rhyolitic melt. – *Economic Geology* **88**, 901–915.

MASON, P. R. D., DOWNES, H., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A. & THIRLWALL, M. 1995: Low-pressure evolution of magmas from the Calimani, Gurghiu and Harghita Mountains, East Carpathians. – *Acta Vulcanologica* 7, 43–52.

MASON, P. R. D., DOWNES, H., THIRLWALL, M., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., LOWRY, D. & MATTEY, D. 1996: Crustal assimilation as a major petrogenetic process in east Carpathian Neogene to Quaternary continental margin arc magmas. – *Journal of Petrology* 37, 927–959.

MASON, P. R. D., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A. & DOWNES, H. 1998: Magmatic constraints on geodynamic models of subduction in the East Carpathians, Romania. – *Tectonophysics* **297**, 157–176.

MCDONOUGH, W. F. & SUN, S.-S. 1995: The composition of the Earth. – *Chemical Geology* **120**, 223–253.

MELCHER, F., MEISEL, T., PUHL, J. & KOLLER, F. 2002: Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: Constraints from geochemistry. – *Lithos* **65**, 69–112.

MORIMOTO, M. 1988: Nomenclature of pyroxenes. – *Mineralogical Magazine* **52**, 535–550.

MORISHITA, T., ARAI, S. & GREEN, D. H. 2003: Evolution of low-Al orthopyroxene in the Horoman Peridotite, Japan: An unusual indicator of metasomatizing fluids. – *Journal of Petrology* **44**, 1237–1246.

MORIYA, I., OKUNO, M., NAKAMURA, E., SZAKÁCS, A. & SEGHEDI, I. 1995: Last eruption and its 14C age of Ciomadul volcano, Romania. – *Summaries of Researches using AMS at Nagoya University* **6**, 82–91.

MORIYA, I., OKUNO, M., NAKAMURA, T., ONO, K. A. S. & SEGHEDI, I. 1996: Radiocarbon ages of charcoal fragments from the pumice flow deposits of the last eruption of Ciomadul volcano, Romania. – *Summaries of Researches using AMS at Nagoya University* (VII) **3**, 252–255.

MURPHY, M. D., SPARKS, R. S. J., BARCLAY, J., CARROLL, M. R. & BREWER, T. S. 2000: Remobilization of andesite magma by intrusion of mafic magma at the Soufriere Hills volcano, Montserrat, West Indies. – *Journal of Petrology* **41**, 21–42.

PANAIOTU, C. G., PÉCSKAY, Z., HAMBACH, U., SEGHEDI, I., PANAIOTU, C. E., TETSUMARU, I., ORLEANU, M. & SZAKÁCS, A. 2004: Short-lived quaternary volcanism in the Perşani Mountains (Romania) revealed by combined K-Ar and paleomagnetic data. – *Geologica Carpathica* **55**, 333–339.

PÉCSKAY, Z., EDELSTEIN, O., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., KOVACS, M., CRIHAN, M. & BERNAD, A., 1995a: K–Ar datings of Neogene–Quaternary calc-alkaline volcanic rocks in Romania. – In: DOWNES, H. & VASELLI O. (eds): Neogene and related magmatism in the Carpatho-Pannonian Region. *Acta Vulcanologica* 7,. 53–61.

PÉCSKAY, Z., LEXA, J. A. S., BALOGH, K., SEGHEDI, I., KONECNY, V., KOVÁCS, M., MÁRTON, E., KALICIAK, M., SZÉKY-FUX, V., PÓKA, T., GYARMATI, P., EDELSTEIN, O., ROSU, E. & ZEC, B. 1995b:. Space and time distribution of Neogene–Quartenary volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. – In: DOWNES, H. & VASELLI O. (eds): Neogene and related volcanism in the Carpatho-Pannonian Region. *Acta Vulcanologica* 15–28.

PELTZ, S., VAJDEA, E., BALOGH, K., PÉCSKAY, Z., 1987. Contributions to the geochronological study of the volcanic processes in the Calimani and Harghita Mountains (East Carpathians, Romania). – *Dari de Seama ale Sedintelor Institutul de Geologie si Geofizica* 72–73, 323–338.

POPA, M., RADULIAN M., GRECU, B., POPESCU, E. & PLACINTA, A. O. 2005: Attenuation in Southeastern Carpathians area: Result of upper mantle inhomogeneity. – *Tectonophysics* **410**, 235–249.

RĂDULESCU, D. P. & SĂNDULESCU, M. 1973: The plate-tectonics concept and the geological structure of the Carpathians. – *Tectonophysics* **16**, 155–161.

RĂDULESCU, D., PATRASCU, S., BELLON, H., 1972. Pliocene geomagnetic epochs: New evidence of reversed polarity around the age of 7 m.y. – *Earth Planetary Science Letters* 14, 114–128.

ROCK, N. M. S. 1990: The International Mineralogical Association (IMA/CNMMN) Pyroxene Nomenclature Scheme: Computerization and its Consequences. – *Mineralogy and Petrology* **43**, 99–119.

ROEDER, P. L. & EMSLIE, R. F. 1970: Olivine-liquid equilibrium. – *Contribution to Mineralogy and Petrology* **29**, 275–289.

RUSSO, R. M., MOCANU, V., RADULIAN, M., POPA, M. & BONJER, K.-P. 2005: Seismic attenuation in the Carpathian bend zone and surroundings. – *Earth and Planetary Science Letters* **237**, 695–709.
RUTHERFORD, M. J. & DEVINE, J. D. 1988: The May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens. 3. Stability and chemistry of amphibole in the magma chamber. – *Journal of Geophysical Research* **93**, 11949–11959.j20
RUTHERFORD, M. J. & HILL, P. M. 1993: Magma ascent rates from amphibole breakdown: an experimental study applied to the 1980–1986 Mount St. Helens eruptions. – *Journal of Geophysical Research* **98**.
SCAILLET, B. & EVANS, B. W. 1999: The 15 June 1991 eruption of Mount Pinatubo. I. Phase equilibria and pre-eruption P-T-fO_2-fH_2O conditions of the dacite magma. – *Journal of Petrology* **40**, 381–411.
SEGHEDI, I., GRABARI, G., IANC, R., TANASESCU, A. & VAJDEA, E. 1986: Rb, Sr, Zr, Th, U, K in the Neogene volcanics from the South Harghita Mountains. – *Dari de Seama ale Sedintelor Institutul de Geologie si Geofizica* **70–71**, 453–473.
SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., UDRESCU, C., STOIAN, M. & GRABARI, G. 1987: Trace elements geochemistry of the South Harghita volcanics (East carpathians): calc-alkaline and shoshonitic association. – *Dari de Seama ale Sedintelor Institutul de Geologie si Geofizica* **72–73**, 381–397.
SEGHEDI, I. & SZAKÁCS, A. 1994: Upper Pliocene to Quaternary basaltic volcanism in the Persani Mountains. – *Romanian Journal of Petrology* **76**, 101–107.
SEGHEDI, I., DOWNES, H., SZAKÁCS, A., MASON, P. R. D., THIRLWALL, M. F., ROSU, E., PÉCSKAY, Z., MÁRTON, E. & PANAIOTU, C. 2004: Neogene–Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian–Pannonian region: a synthesis. – *Lithos* **72**, 117–146.
SEGHEDI, I., DOWNES, H., HARANGI, S., MASON, P. R. D. & PÉCSKAY, Z. 2005: Geochemical response of magmas to Neogene–Quaternary continental collision in the Carpathian–Pannonian region: A review. – *Tectonophysics* **410**, 485–499.
SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A., PÉCSKAY, Z., MASON, P. R.D., 2005. Eruptive history of magmatic processes in the Calimani volcanic structure (Romania). – Geologica Carpathica 56, 67–75.
SISSON, T. W. & GROVE, T. L. 1993: Experimental investigations of the role of H_2O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism. – *Contributions to Mineralogy and Petrology* **113**, 143–166.
SPEAR, F. S. 1981: An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite. – *American Journal of Science* **281**, 697–734.
SPERNER, B., LORENZ, F., BONJER, K., HETTEL, S., MULLER, B. & WENZEL, F. 2001: Slab break-off – abrupt cut or gradual detachment? New insights from the Vrancea Region (SE Carpathians, Romania). – *Terra Nova* **13**, 172–179.
SPERNER, B., IOANE, D. & LILLIE, R. J. 2004: Slab behaviour and its surface expression: New insights from gravity modelling in the SE-Carpathians. – *Tectonophysics* 382, 51–84.
SZABÓ, C., HARANGI, S. & CSONTOS, L. 1992: Review of Neogene and Quaternary volcanism of the Carpathian–Pannonian region. – *Tectonophysics* 208, 243–256.
SZAKÁCS, A. & SEGHEDI, I. 1986: Chemical diagnosis of the volcanics from the Southeasternmost part of the Harghita Mountains – proposal for a new nomenclature. – *Revue Roumaine de Géologie Géophysique et Géographie, Géologie* **30**, 41–48.
SZAKÁCS, A. & JÁNOSI, C. 1989: Volcanic bombs and blocks in Harghita Mts. – *Dari de Seama ale Sedintelor Institutul de Geologie si Geofizica* **74**, 181–189.
SZAKÁCS, A. & SEGHEDI, I. 1989: Base surge deposits in the Ciomadul Massif (South Harghita Mountains). – *Dari de Seama ale Sedintelor Institutul de Geologie si Geofizica* **74**, 175–180.
SZAKÁCS, A. & SEGHEDI, I. (Eds) 1991: Accretionary lapilli tuffs in the Harghita Mountains. The volcanic tuffs from the Transylvanian Basin, Romania, 3. – University of Cluj-Napoca Special Issue, pp. 217–222.
SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I. & PÉCSKAY, Z. 1993: Pecularities of South Hargitha Mts. as the terminal segment of the Carpathian Neogene to Quaternary volcanic chain. – *Revue Roumaine de Géologie Géophysique et Géographie, Géologie* **37**, 21–37.
SZAKÁCS, A. & SEGHEDI, I., 1996. Neogene/Quaternary volcanism in Romania. – In: SEGHEDI, I. (ed.): Excursion Guide A, The 90th Anniversary Conference of the Geological Institute of Romania, June 12–19, 1996. *Anuarul Institutului Geologic al Romaniei, Bucharest,* 33–42.
SZAKÁCS, A., SEGHEDI, I. & PÉCSKAY, Z. 2002: The most recent volcanism in the Carpathian–Pannonian Region. Is there any volcanic hazard? – *Geologica Carpathica Special Issue,* Proceedings of the XVIIth Congress of Carpathian–Balkan Geological Association **53**, 193–194.
TATSUMI Y. N. T. 2002: The petrology and geochemistry of calc-alkaline andesites on Shodo-Shima Island, SW Japan. – *Journal of Petrology* **43**, 3–16.
VASELLI, O., DOWNES, H., THIRLWALL, M. F., DOBOSI, G., CORADOSSI, N., SEGHEDI, I., SZAKÁCS, A. & VANNUCCI, R. 1995: Ultramafic xenoliths in Plio-Pleistocene alkali basalts from the eastern Transylvanian Basin: depleted mantle enriched by vein metasomatism. – *Journal of Petrology* 36, 23–53.
YOGODZINSKI, G. M., LEES, J. M., CHURIKOVA, T. G., DORENORF, F., WOERNER, G. & VOLYNETS, O. N. 2001: Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges. – *Nature* **409**, 500–504.

Kézirat beérkezett: 2006. 08. 09.

Földtani Közlöny 137/1, 129–136. (2007) Budapest

Földtani megfigyelések — amit újra már senki nem láthat

Felszínközeli rétegsorok anomáliái a budai Királyhágó térnél

Shallow subsurface layer anomalies at the Királyhágó square in Budapest

NAGYMAROSY András[1] – PAÁL Tamás[2]

(2 ábra, 2 fénykép)

Tárgyszavak: talajmechanika, Budai-hegység, oligocén, lejtőmozgás
Keywords: soil mechanics, Buda Hills, Oligocene, slope processes

Abstract

During an everyday engineering geological field study (Budapest, Buda Mts) an extraordinary sedimentary sequence was discovered. Instead of in situ Tard and Kiscell Clay Formations, a 14 m-thick Quaternary slope deposit was exposed consisiting of reworked material of the above formations. The inverted sequence of the reworked material and the extremely thick valley-infill refers to slope processes have taken place more complicated indicate than it was once belived.

Összefoglalás

Egy kezdetben hagyományosnak hitt talajmechanikai vizsgálat során (Budapest, Budai-hegység) geológiai rendellenességek mutatkoztak. Még 14 m mélységig sem jelentkezett a földtani térképeken jelzett szálban álló Tardi vagy Kiscelli Agyag, hanem csak áthalmozott lejtőtörmelék, amely kevert, törmelék formájában tartalmazza ezeknek a képződményeknek az anyagát. Az áthalmozott rétegek sorrendje bonyolult lejtőmozgási folyamatokra utal.

Előtanulmányok

A Budapest, XII. kerületi Királyhágó tér közvetlen közelében egy tervezett lakóépület előkészítő alapozási-talajmechanikai vizsgálatát 1994-ben a FŐMTERV Fővárosi Mérnöki Tervező Rt. végezte. A vizsgálat előtti adatgyűjtések egyik első fontos eredménye volt, hogy a terület közelében jelenik meg a valamikori Németvölgyi-árok és az Orbánhegyi út mentén egykor létező árok, amiből áthalmozott rétegekre lehetett számítani. A környéken több épületnél gyakori a pincevíz, ami összefüggésbe hozható a valamikori árkokat kitöltő üledék jó vízvezető képességével.

A különböző földtani térképek, (HORUSITZKY 1938; SZENTES 1956; KISDINÉ BULLA et al. 1984) és (WEIN 1977) ugyan kissé eltérően, de alapvetően azt mutatják, hogy a terület építésföldtani alaprétege a szálban álló eocén Budai Márga Formáció, amely

[1]ELTE, Általános és Történeti Földtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C.
e-mail: gtorfo@ludens.elte.hu
[2]FŐMTERV Fővárosi Mérnöki Tervező Rt., 1024 Budapest, Lövőház utca 37. e-mail: t.paal@fomterv.hu

az Orbán-hegyen és a Németvölgyi út mentén több helyen a felszínen is látható. Erre az oligocénben folyamatos átmenettel agyagmárga, meszes agyagrétegek települtek (a Tardi Agyag Formáció alsó tagozata), melyet a Kiscelli Agyag Formáció követett (BÁLDI 1983). A Kiscelli Agyag Formáció mélyebb része a Tardi Formációhoz hasonlóan szürke színű, felszínközeli rétegei az oxidatív átalakulás következtében sárgás, barnás színűek (VENDL 1932). Mint ismeretes, a kétféle oligocén agyag az ősmaradványokon kívül karbonáttartalmában és szerkezetében is eltér egymástól, ugyanis a típusos Tardi Agyag mikrorétegzett, karbonátokban szegény, míg a Kiscelli Agyagban a lamináció igen ritka.

A csapadékvíz beszivárgása szempontjából ezek a képződmények különbözőképpen viselkednek. A hegyoldal magasabban fekvő részén az erősen töredezett Budai Márga Formáció található a felszíni fedőréteg alatt. Itt a csapadékvíz intenzív beszivárgásának csak a márga agyaggá málló felső kérge jelent valamelyest akadályt, egyébként a víz könnyen jut a mélybe. Völgy felé tartó útja során a lefolyó víz a Tardi Agyag Formációba szivárog be, de még itt is csak viszonylag kis ellenállásba ütközik, mivel mérnökgeológiai tapasztalatok szerint a Tardi Agyag Formáció a réteglapok mentén sokkal jobban vezeti a vizet, mint arra merőlegesen. A Tardi– Kiscelli Formációk határfelületén viszont hirtelen erősen lecsökken a vízáteresztőképesség, s ezért a víz felduzzad, megközelíti a pincéket, sőt a felszínt is. Erre már HORUSITZKY felhívta a figyelmet 1938-ban, amikor azt írta, hogy a Böszörményi úton, közel a Németvölgyi úthoz a villamos vágányzónában víz szokott megjelenni, mert „a leszivárgó talajvíz útja elrekesztődik".

Az oligocén rétegek felett pleisztocén áthalmozott lejtőlösz, majd alsó-holocén lejtőtörmelékes agyag és kőzetliszt található. A lejtőtörmelékben váltakozva követik egymást a kőzettörmelékes és az agyagos környezetből szállított rétegek. Tehát egymás felett több, durvább, permeábilisebb törmelékes réteget is feltételezhetünk, melyeket agyagos rétegek választanak el. A „kvázi" lencsés kifejlődésű, heterogén vízvezető-képességű összletben rétegvizek mozoghatnak, és a meteorológiai viszonyok következtében időnként különböző nyomású, feszített víztestek is lehetségesek.

Az agyagos talajú oligocén és pleisztocén üledékbe bevágódott árkok törmelékes kitöltésének vízvezető szerepe van. Legfelül mesterséges feltöltéssel alakították ki a terepet, melynek lejtése KDK irányú volt.

Feltárási adatok

A tervezett épület telkén az 1994-ben készült négy nagyátmérőjű (210/160 mm-es), 13–14 m mély gépi fúrás alapján ismeretes a rétegsor (*1, 2. ábra*).

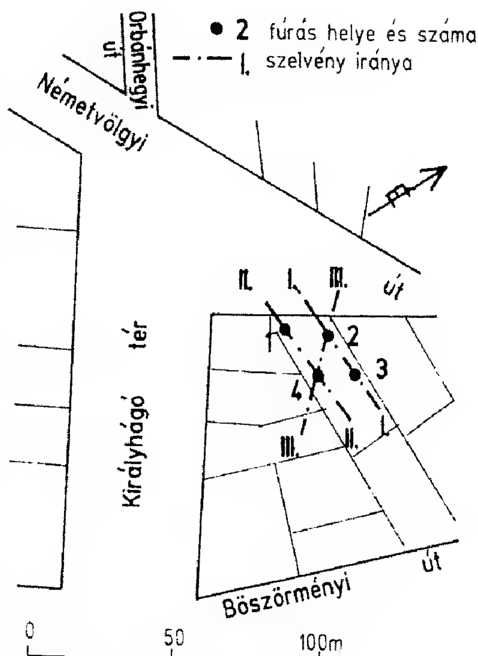
A talajminták részletes vizsgálata során a zavartalan állapotú magminták belsejében ismételten olyan mértékű heterogenitás mutatkozott, amely az ismertetett átfogó földtani képpel ellentétes volt. Ennek észlelése nyomán szakértői közreműködés keretében az ELTE Általános és Történeti Földtani Tanszéke kapcsolódott be a munkába.

A legteljesebb rétegsort a 4. sz. fúrás harántolta, amelyben öt elkülönült rétegtag váltakozását lehetett felismerni, amelyek egy-egy típust képviselnek. A fúrás vázlatos rétegsorát az alábbiakban közöljük:

0–3,3 m A rétegtag: váltakozó laza lejtőtörmelék, paleo-talaj és antropogén feltöltés. A lejtőtörmelék mátrixa sárgásszürke vagy feketésszürke homokos pelitből áll, amelynek jelentős része talaj eredetű. A pelitben kemény, éles szélű, nem koptatott kőzettörmelék úszik, ennek szemcsemérete 5–150 mm között váltakozik. Anyaga a Budai Márgában gyakori allodapikus mészhomokkő. A sárgásszürke mátrix pelitje feltehetően a Budai Márga pelites szakaszainak áthalmozásából származik.

3,3–7,7 m B rétegtag: kézzel morzsolható, de az előző anyagnál kompaktabb, áthalmozott, plasztikus, „kövér" agyagból álló lejtőtörmelék. A klasztok anyagát a sárgára oxidálódott Kiscelli Agyag adja, de vannak benne szürke, oxidálatlan Kiscelli Agyag darabok is. A néhány mm-től 1-2 cm-ig terjedő méretű szögletes agyagrögöket a sárga mátrix fogja össze.

7,7–8,6 m C rétegtag: laza, sötétbarna-barnásfekete, oxidált, mállott agyagos mátrixú lejtőtörmelék gipszkristályokkal, a klasztok anyaga a Tardi Agyagból származik.



1. ábra. A feltárás helyszínrajza a fúrások és a szelvények feltüntetésével

Fig. 1 Location map of the drilling sites and the profiles (dot: borehole location, dotted line: section, É: North)

8,6–9,6 m D rétegtag: laza, kevéssé plasztikus, feketésszürke, oxidálatlan áthalmozott agyagos mátrixú lejtőtörmelék. A mátrix és a klasztok is a Tardi Agyag nem laminált változatából származhatnak, kevéssé gipszes.

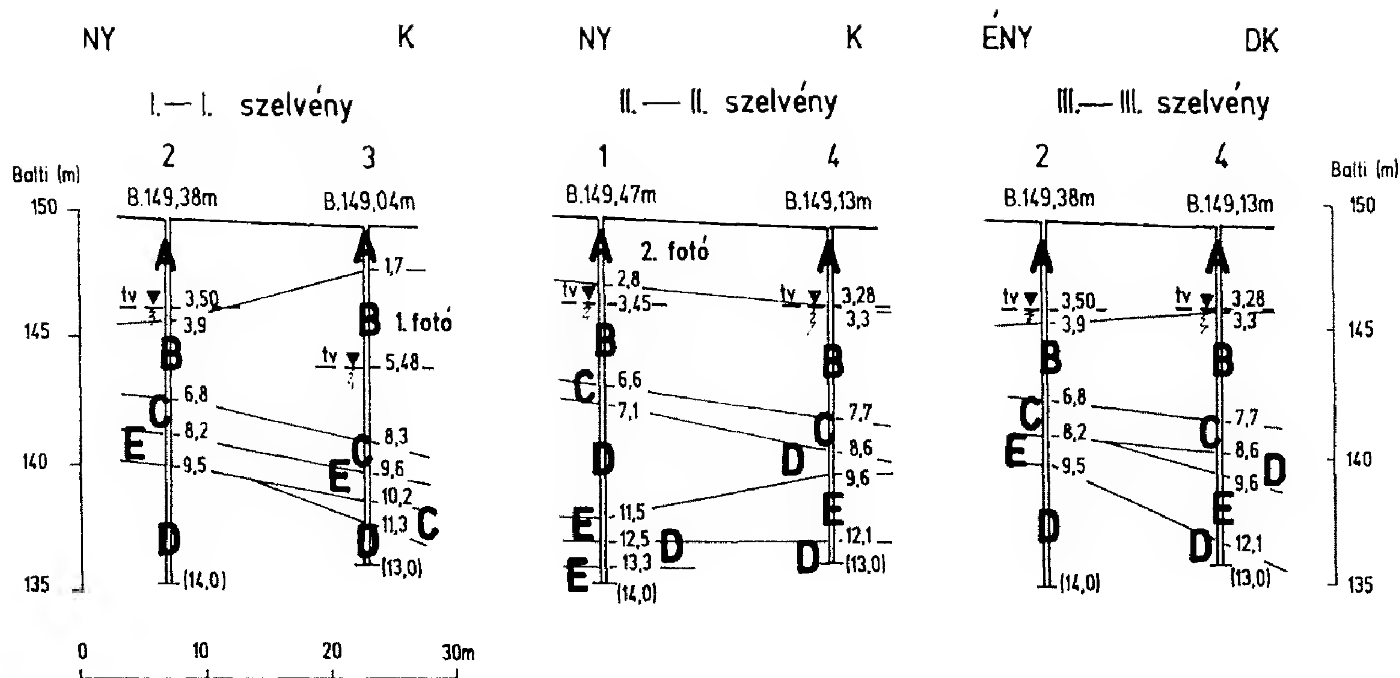
9,6–12,1 m E rétegtag: 20–200 mm-es, szögletes, kemény, alig mállott kőzetdarabokból álló lejtőtörmelék. A klasztok anyagát üde mikrorétegzett Tardi Agyag adja.

12,1–13,0 m D rétegtag: (ugyanaz, mint a fenti 8,6–9,6 m közötti D rétegtag)

Az egyes rétegtagok eloszlását a négy fúrásban a 2. *ábra* mutatja, melynek analíziséből kitűnik, hogy az E típusú rétegtag egyszer visszatér, magasabbik szintje kelet felé vastagodik. A D típusú rétegtag is ismétlődik, ez azonban kelet felé vékonyodik, ami arra utal, hogy az E és D típusú rétegtagok ellenkező irányból halmozódtak át. Hasonlóan ellentétes tendencia figyelhető meg az A és B típusú rétegtagok között, amelyek közül a B típusú kelet felé vastagodik, míg az A kelet felé vékonyodik. A C szint dél felé mutat mérsékelt vastagodást.

Laboratóriumi vizsgálatok

Az elvégzett talajmechanikai laboratóriumi vizsgálatok alapján az egyes rétegtagokról az alábbi geotechnikai minősítés adható (a rétegsorban felülről lefelé haladva):



2. *ábra.* Földtani szelvények a fúrásokon keresztül a rétegek korrelációjának feltüntetésével

Fig. 2 Geologic profiles with the assumed correlation of strata

A rétegtag: A fedőréteg rendkívüli heterogenitása a plasztikus index (Ip) adatokon is meglátszik: 7–27%-ig terjednek az értékek, vagyis az anyag iszapos homokliszttől közepes agyagig váltakozik, a konzisztencia index (Ic) 0,8–1,2 közötti, azaz kemény, vagy sodorható állapotú. Tömörségi viszonyairól csak négy adat áll rendelkezésünkre, eszerint a hézagtényező (e)= 0,51–0,80, tehát változóan tömör. A rétegtagon belül a természetes lejtőtörmeléket az antropogén résztől csak az esetlegesen talált mesterséges (pl. tégla) anyagdarabkák alapján lehet elkülöníteni.

B rétegtag: Áthalmozott sárga Kiscelli Agyag anyagú lejtőtörmelék, amiben üde kékesszürke Kiscelli Agyag rögök is előfordulnak: I_p=26–$\underline{33}$–38% (az aláhúzott adat az átlagérték), tehát közepes és kövér agyag, I_c=1,0–$\underline{1,2}$–1,4, vagyis kemény állapotú. (18 adatból) e=0,58–$\underline{0,67}$–0,90, azaz változó tömörségű, összenyomódási modulusa (E_s) 13,3–$\underline{17,8}$–22,2 MN/m^2, nyírószilárdsági jellemzői (12 adatból): ϕ=6–$\underline{13}$–28°, c=36–$\underline{72}$–140 kN/m^2.

C rétegtag: Sötétbarnás-barnásfekete, oxidált, mállott agyagos törmelék, amely színe és az előforduló gipszkristályok alapján feltehetően Tardi Agyag eredetű: I_p=25–$\underline{26}$–27%, tehát közepes agyagnak minősül, kemény I_c=1,2–$\underline{1,3}$–1,4, közepes tömörségű e=0,62–$\underline{0,66}$–0,70, E_s=8,5–$\underline{10,7}$–14,8 MN/m^2, ϕ =10°, c=171 kN/m^2.

D rétegtag: Feketésszürke, lényegében áthalmozott agyag, kevéssé vagy nem mállott Tardi Agyag törmelék, melynek mikrostruktúráját az áthalmozás megsemmisítette. I_p=22–$\underline{25}$–30%, I_c=1,2–$\underline{1,4}$–1,5, e=0,43–$\underline{0,63}$–0,81, E_s=9,5–$\underline{14,6}$–25 MN/m^2, ϕ =14–$\underline{15}$–16°, c=97–$\underline{134}$–172 kN/m^2.

E rétegtag: Fekete-feketésszürke, típusos Tardi Agyag alig mállott törmeléke. A törmelékszemek anyagában észlelhető a mikrorétegzett üledékstruktúra: I_p=21–$\underline{28}$–39%, I_c=1,1–$\underline{1,4}$–1,5, e=0,48–$\underline{0,67}$–0,97, E_s=10,0–$\underline{13,0}$–14,8 MN/m^2, ϕ =10–$\underline{12}$–14°, c=121–$\underline{155}$–190 kN/m^s.

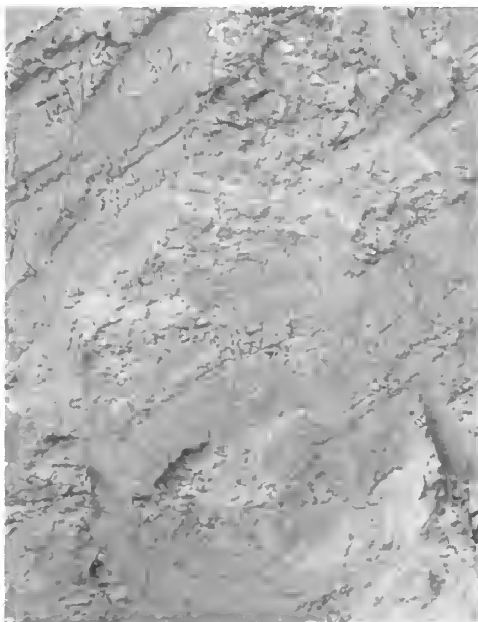
A tervezett épület kivitelezésének megkezdése mintegy tíz esztendeig húzódott. 2005 májusában mód nyílott a már részben kiemelt munkagödör megtekintésére. Az időközben áttervezett épület alapgödre csak a felső két rétegtagot érintette (*1.* és *2. kép*), amint ezt a B típusú rétegtagból kivett talajminta 30%-os I_p-adata, és 39%-os $CaCO_3$-adata is mutatja (BÁLDI 1983).

A B típusú rétegtag Kiscelli Agyag eredetét a mészvázú nannoplankton vizsgálat is alátámasztotta. Az innen vett mintából az alábbi nannoplankton flóra került elő: *Blackites spinosus* (DEFLANDRE et FERT) HAY et TOWE,



1. kép. Áthalmozott Kiscelli Agyag a B rétegtag felszíni feltárásában (a kalapács kb. 45 cm)

Photo 1 Reworked Kiscell Clay from the outcrop of B bed (length of the hammer is about 45 cm)



2. fotó. Az A rétegtag felszíni feltárásban, mikrorétegzett pelit törmelékkel (képmagasság kb. 0,5 m)

Photo 2 View of the outcropping A bed with laminated pelite debris (height of the picture is roughly 0.5 m)

Coccolithus pelagicus (WALLICH) SCHILLER, *Cyclicargolithus abisectus* (MÜLLER) WISE, *Cyclicargolithus floridanus* (ROTH et HAY) BUKRY, *Helicopontosphaera recta* HAQ, *Pontosphaera multipora* (KAMPTNER) ROTH, *Reticulofenestra bisecta* HAY, MOHLER et WADE, *Reticulofenestra lockeri* MÜLLER, *Reticulofenestra minuta* ROTH, *Rhabdosphaera perlonga* DEFLANDRE.

Az ősmaradványegyüttes kora késő-kiscelli, ami MARTINI NP 24-es nannoplankton zónájának felel meg, csak úgy, mint a tipikus Kiscelli Agyag.

Hidrogeológiai megfigyelések

A feltárás idején (1994. május – júniusban) talajvíz minden fúrásban jelentkezett: A fúrásoknál (2. *ábra*) feltüntetett vízszintek több napos „nyugalmi szintek", melyek 3–5 méteres emelkedés után alakultak ki. Az első vízészlelések a fúrások számozásának sorrendjében –6,90, –6,30, –7,87, –8,90 m-en voltak. A fúrás idején még itt állott régi épület pincéjében lévő zsomp vize a B.146,24 szintű pincepadló alatt 18 cm-el, B.146,06 szinten volt, tehát a víz szintje 2 dm-en belül megegyezik három fúrás nyugalmi vízszintjével. Ez arra utal, hogy a pincében a természetes, szabad tükrű talajvíz mutatkozott, amit egyébként a zsomp kiépítése is megerősít. Ez, valamint a környékbeli pincevízpanaszok azt mutatják, hogy a fúrásokban észlelt jelentős vízszintemelkedés nem a „nyugalmi" vízszint beállása útján alakult ki, hanem a mély furatoknak a felső vízvezető rétegből történt feltöltődése révén. (A mélyebb rétegek átfúrásakor újabb vízemeletet, vagy rétegvizet nem észleltek.)

Az észlelt vizek az MI 17.215-86 szerinti II/3. ún. gyengén agresszív osztályba tartoznak (*I. táblázat*). Egy közeli fúrásban szintén mértek SO_4= 2925 mg/l értéket, ami a II/2. osztály felső határánál van. A talajvíz agresszivitásának közismert

I. táblázat. A fúrásokban észlelt talajvizekre vonatkozó adatok

Table I Data of the groundwater in the boreholes

Fúrás száma	Terepszint mélysége	Talajvíz szintje		SO_4	Cl	pH
	B. m	-m	B. m	mg/l	mg/l	
1	149,47	3,45	146,02	2750	28	6,8
2	149,38	3,50	145,88	1690	57	6,5
3	149,04	5,48	143,56	3190	64	6,5
4	149,13	3,28	145,85	1920	50	6,4

ingadozása, valamint a talajmintákban sok helyen talált gipszkristályok és a kékes-szürkés agyag törmelék színét adó finom eloszlású pirit (VENDL 1932) jelenléte alátámasztja a 3. fúrásnál észlelt adat realitását. Ezek az értékek az MSZ EN 206-1:2002 szabvány XA3 kitéti osztályának felelnek meg.

Értelmezés

1. A várttal ellentétben a talajtömeg a feltárt teljes (13–14 m-es) mélységig nem a földtani térképeken jelzett autochton, szálban álló oligocén Tardi vagy Kiscelli Agyag Formáció, hanem későbbi geológiai időben áthalmozott lejtőtörmelék, amely keveredett, töredékes formában tartalmazza a Tardi és Kiscelli Formációk anyagát. Ez jó összhangban van az előzetes adatgyűjtések alapján az – időközben deformált, de a múlt század elején még meglévő – Németvölgyi és Orbánhegyi árkokról szerzett ismeretekkel, de az árkok várt mélységét a tényleges észlelés jelentősen nagyobbnak mutatta. Ez korábbi, nagyobb kiterjedésű tömegmozgásokra utal. Ezek felderítése a jelenleginél sokkal átfogóbb térképező munkát igényelne, amely magában foglalná a területen mélyített korábbi összes, főleg a mélyre lehatoló fúrások rétegsorának újraértékelését is. A probléma lényege ugyanis az, hogy kisméretű feltárásokban, alapozásokban, kézi fúrásokban nagyon nehéz – netán lehetetlen – megkülönböztetni a szálban álló Kiscelli Agyagot annak áthalmozott változatától.

2. A fúrásokon és a munkagödörben végzett vizsgálatok egy másik problémát is felvetnek: a rétegsor tanúsága szerint a felső két rétegtag a negyedidőszakban áthalmozott Budai Márga Formáció és Kiscelli Agyag Formáció anyagát tartalmazza, míg az alatta fekvő rétegek teljesen vagy túlnyomó részben a Tardi Agyag Formáció anyagának törmelékéből állnak. A lepusztulás tipikus folyamatát feltételezve, mélyeb helyzetben kellene találnuk a fedőben települő Kiscelli Agyag Formáció áthalmozásából képződött kvarter réteget és a fölött kellene lennie az eredetileg fekü-helyzetben lévő Tardi Agyag Formáció törmelékét.

Az a tény, hogy az itteni áthalmozott rétegsor eltér ettől, arról tanuskodik, hogy a lepusztulási folyamatok és lejtőmozgások más módon zajlottak le, mint ahogyan azt eredetileg feltételezni lehetett. A két (vagy három) irányból lezajlott negyedidőszaki áthalmozás feltételezését az egyes rétegtagok kivastagodási és/vagy kiékelődési tendenciái megerősítik.

3. Az egyes rétegtagok bár megjelenésükben meglehetős változatosságot mutatnak, de a talajfizikai jellemzőket tekintve – a fedőréteget kivéve – nem térnek el markánsan egymástól. Az e helyen mért jellemzők csaknem mindenhol egyértelműen alacsonyabb értékűek a PAÁL (1976) által ismertetett tömegadatok átlag értékeinél – ami általában várható lenne. E jelenség jól magyarázható az áthalmozottsággal, de a terület korábbi leírásával szöges ellentétben van.

4. Az A típusú rétegtag alatti lejtőtörmelékes rétegekben (a B–E típusú rétegtagokban) a viszonylag közeli környezetből származó időszakos hegyoldali talajvíz mozog a lejtő irányába. Ez a víz a felszín alatti kötöttebb réteg felszínének vápáiban gyakrabban és koncentráltan jelenik meg, esetenként a réteg belsejében lévő agyag lezárása következtében nyomás alá is kerül. Ez is a jelentősége az árkoknak, melyek betemetés után is – két irányból – vezetik ide a vizet.

Feltehetőleg a rétegek áthalmozottságával van összefüggésben a talajvíz magas szulfáttartalma, betonagresszivitása, ugyanis a megbontott eredeti kőzetszerkezetből a víz könnyebben kioldhatta a bomló pirit SO_3 és SO_4 oxidációs termékét.

Következtetés

Bármennyire ismertnek tűnik egy tervezett építkezés helyszíne, nemcsak a hatályos jogszabályok kényszere miatt, hanem éppen az előmunkálatokon költségeket megtakarítani akaró megbízó kifejezett érdekében, nem szabad eltekinteni a gondos és körültekintő talajvizsgálattól. A szükség szerint elvégzett – kiegészítő – geológiai vizsgálatok alapvetően megváltoztathatják az előzetesen elgondolt képet és kétségessé tehetik a várt, egyes földtani képződményekre (formációkra) megalapozottan vonatkozó talajmechanikai (szilárdsági és alakváltozási) értékek alkalmazásának jogosságát.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik lektoraik, BÁLDI Tamásné, FODOR László, valamint GRESCHIK Gyula alapos és körültekintő munkáját, hasznos észrevételeit.

Irodalom – References

BÁLDI T. 1983: Magyarországi oligocén és alsómiocén formációk. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 293 p.

HORUSITZKY H. 1938: Budapest dunajobbparti részének (Budának) hidrogeológiája. – *Hidrológiai Közlöny* **18**, 299–301.

KISDINÉ BULLA J., RAINCSÁKNÉ KOSÁRY ZS. & SZABÓNÉ DRUBINA M. (szerk.) 1984: Budapest területének fedett és fedetlen földtani térképei. – Magyar Állami Földtani Intézet.

PAÁL T. 1976: A budai agyagok mérnökgeológiai összehasonlítása matematikai statisztikai alapon. – *Földtani Közlöny* **106/2**, 229–256.

SZENTES F. (szerk.) 1956: Budapest és környékének földtani térképe M = 1:50 000. – Magyar Állami Földtani Intézet.

VENDL A. 1932: A kiscelli agyag mállása. – *Mat. Term. Tud. Ért.* **48**, 32–37.

WEIN Gy. 1977: A Budai-hegység tektonikája. – MÁFI alkalmi kiadványa, 76 p.

Kézirat beérkezett: 2006. 05. 09.

Földtani Közlöny 137/1, 137–138. (2007) Budapest

Nekrológ



„...mint kovász a kenyérben"
Emlékezés tücsökciripelés és csillagos ég közé zárva
Sumiról, aki élt, elment, és valamit végleg itt hagyott...

Breuer László

1965. szeptember 28. – 2006. november 25.

Csörög a telefon, szombat este van. Rövid mondatok, nehezen beszélő, könnyekkel küzdő férfihang. „Sumi itthagyott minket, ne haragudj, most nem tudok tovább beszélni, lerakom."

Leteszi, és itthagy engem a megválaszolatlan kérdéseimmel, örök kételyeimmel, hogy miért, akkor miért is érdemes...

Leteszem én is a telefont, űr van, űr képződik a hangok után. Vákuum, kitöltetlen tér, amelyből, most már örökre, hiányzik valaki. Nézek magam elé, elkeseredetten, aztán inkább haragosan, vadul. Világot törő indulatok feszülnek bennem, miért, miért? A Jóisten csapkod ide, oda. Néha tényleg nem érteni, hogy milyen tervek szerint, milyen rendező elv alapján mozgatja az életeket. Játéktáblára állít, léphetsz valamennyit, aztán kiüt, mehetsz a partvonal mögé, vissza sose jutsz. Itt kell hagynod mindenedet.

Ne vidd el, még ne, kérem, követelőzöm, hiszen az életmű így még töredékes, de csak kiabálok az égbe, nedves a tenyerem, nyirkos a hátam, és odabenn összeszorul valami, amitől nekem is összegömbölyödnöm kell.

Emlékszem, amikor a geológiai mesekönyvünket (Breuer László – Mirtse Zsuzsa: Földanya ékességei, 1999) írtuk együtt, sokszor éjszakáig mesélt. Elmesélte nekem a világot, kavicsból és hegyoromból, s nekem nem volt más dolgom, mint az amúgy is mesebeli lélek köré újabb mesét szőni. Értette a kövek nyelvét, én pedig halálosan irigy voltam rá. Varázslónak képzeltem őt, és úgy gondoltam, uralkodik a földi törvényeken. Jó volt az a néhány hónap, kegyelmi állapot. Mit lehet mondani most, hát mit lehet?

Ha mégis mondani kell valamit: cselekvő ember volt. Amíg én álmodoztam, ő bozótot vágott, karsztot tisztított, apró gyerekekkel molyolt a Süni táborban, ami szintén maga volt a megélhető csoda. „Nagy szám" volt vele dolgozni a Gálya-táborokban — aki eljutott odáig, az „feljutott" odáig. Kapott Pro Natura díjat, Köztársasági Aranykeresztet is, de nem ez volt a fontos, hanem az, hogy — ahogy ő mondta — beoltsák a gyerekeket természetszeretettel. Nagy dózisban, hirtelen, hogy aztán évről évre csak ismétlő oltást kelljen adni — ilyen „oltás" volt a nyári tábor, a téli „Fagyhalál": akik ide kerülhettek, hitte, már sose lesznek elveszett, csellengő emberek.

A Göncölben kezdte pályafutását, ahol közösen hívták életre 1991-ben a Pangea Egyesületet, amelynek elnöke lett, s amely tényleg sikeres, hegyeket mozdító

történet ma is. Aztán ott volt az oktatóház, a nagy álom, Pénzesgyőr. Sikerült neki kockacukrokból felépíteni az Univerzumot. Az asztalán hegyekben álltak a könyvek: tájbarát építészet, kemencekészítés, helyi ételek évkörhöz kötve, kis csuprok a csákvári fazekastól — megannyi kis világ, amelyet meg kellett nyitni ahhoz, hogy az egész, a nagy álom hibátlan legyen.

Azt vallotta, olyanok vagyunk, mint a kenyérben a kovász. Aki „eszik" belőlünk, abban tovább él az üzenetünk, az átalakul; alkotó és tanító lesz. Viszi tovább a hírt, annak a világnak a hírét, ahol máshogy mennek még a dolgok, mint mostanában, körülöttünk. Hittük is, nem is, de megfertőződtünk mégis, egészséggel, természettel. Milyen fura, hogy éppen tőle vették el mindkettőt…

Ja, és kenyeret is sütött. Nagy, sütőlapátnyi kezében mosolygott a pirosra sült, vastag héjú, kemencés kenyér. Lassan készült, macerás volt foglalkozni vele, de mégis, a kenyér minden. Ha kenyér van, minden van, jól tudta ezt.

Amíg mások tervezgettek, ő mindezt megvalósította. Széles vállán hordozta a megoldást, a „gyógyírt" az egész Föld — a Pangea — minden gondjára, bajára, így „göncölt", mint Göncöl táltos, aki csak önmagán nem tudott segíteni, és most szekerével a csillagok útján örök jelkép a földiek számára. Sumi vitte a túrákon a kőzetekkel megrakott, félmázsás hátizsákját; roppant bakancsa nyomán gyümölcsfák sarjadtak, meg biokert, tanösvény, bronzkori tűzhely, komposztáló… Tiszta szívvel látta át a sok részből álló Szövetséget, amely a világ jobbá tétele érdekében jött létre. Maga is része lett a Göncöl szívének — és ez a szív most meghasadt. Akik egykor az első lépéseit segítették, most úgy érzik, mintha testvérük, gyermekük ment volna el, s mindannyian tudjuk: visszakaptuk a kulcsot, amelynek őrzője volt.

Nem tudjuk, hogy meddig lehetünk itt. Nem tudható, kinek mikor kell visszaadni a ruhatárba a jelmezt, a nagykabátot, mikor jár le a kölcsönzési idő, mikor ér véget a játszma, amit játszunk, amit odafönt játszanak velünk. Ezért nem tehetünk mást, mint azt, hogy minden pillanatban úgy éljünk, úgy készüljünk, hogy bármikor mennünk kell — és ha kell, rendet kell hagyjunk magunk mögött. Teljes könyvet, teleírt oldalakat. Minden pillanatában, töredékességében is Teljes Földet, világegyetemet. Utolsó napjáig a pénzesgyőri álmot építette: lapáttal, egyre több segítséggel, de két kezével dolgozott érte. Ő volt a tégla, a habarcs és a fal.

Szerintem az oktatóközpont ott, Pénzesgyőrben ezentúl az ő nevét fogja viselni. Húsz év múlva a gyerekek már csak azt fogják tudni, hogy volt egy férfi, aki nem volt idősebb, mint az apukájuk, nagy, hegynyi ember volt, értette a kövek nyelvét, és mégis elment — ki érti ezt? De kapni fognak valamit, amit csak itt lehet kapni, zsákszámra, méretlenül, és amikor visszamennek, új irányt vesz az életük. Hát erről szól ez az álom, ez a lényege.

Teljes életmű ez, így töredékesen is. Ahogy teljes világ a Bakony, a Balaton-felvidék. Nem kellenek az egzotikus helyek, jó ez itt nekünk, otthonos, itthoni.

Ezer helyen ültetett el magokat, amelyek kikelnek bennünk, akik együtt játszottunk, álmodoztunk vele, aztán a tanítványokban, akik tovább viszik hírét, véráramukban, az apró gyerekekben, a keze között formálódó falakban. Égigérő fák nőnek majd belőlünk, amelyek tartani tudják majd az eget.

Folytatjuk. A mesének nincs még vége. Tovább írjuk a lapjait…

Akik búcsúznak: a Breuer család, a Pangea Egyesület, a Süni táboros kicsik és nagyok, a Süni és a Vadon magazin szerkesztősége, a Göncöl Alapítvány és a Szövetség, Tanítványai, Barátai, Munkatársai

Mirtse Zsuzsa

Földtani Közlöny 136/3, 139–143. (2006) Budapest

Hírek, ismertetések

Összeállította: PALOTÁS Klára

FELHÍVÁS

Tisztelt Kollégák!

A szerzői és szerkesztői munkák során mindenki belebotlott már olyan szakmai helyesírási problémába, amit nem szabályoz a Helyesírási szabálykönyv. Ennek kapcsán felmerült az igény, egy szakmai helyesírási szótárra. Szerencsénkre LACZKÓ Krisztina (ELTE BTK) nyelvész felajánlotta a segítségét a szótár elkészítésében. (Ő az egyik szerkesztője az Osiris kiadásában megjelent Helyesírás című kötetnek, s eddig is rendszeresen segítette szerkesztői munkánkat.)

A munka első fázisában a Szerző engedélyével tematikus csoportokra bontottam KÁZMÉR Miklós szótárának magyar szószedetét. A tematikus csoportosításnak az a célja, hogy ne kelljen mindenkinek a teljes (több mint 18 000 szó) anyagot átnézni, csak azokat, amelyek kutatási területéhez (és/vagy a szívéhez) közel állnak. A tematikus fájlokat a Magyarhoni Földtani Társulat Honlapján lehet elérni, onnan letölteni. Ha valaki az ott talált listákhoz szeretne új szavakat fűzni, azt kérem, ne az eredeti fájlokhoz írjon újabb szavakat, hanem a téma és a szerző feltüntetésével küldje el a saját szószedetét külön fájlban a piros@mafi.hu címre.

Az általam elkövetett tematikus bontás messze nem tökéletes, de mivel a szótár abc rendben jelenik meg a tematikai hovatartozás feltüntetése nélkül, ennek igazán nincs jelentősége, mint ahogy annak sem, ha egy szó véletlenül több csoportba is bekerül.

Ha valaki úgy érzi, hogy nem tökéletes a helyesírása, nagyon kérem ne hátráljon meg a feladat előtt, mert a cél most az, hogy minél több szó, szókapcsolat, szóösszetétel összegyűljön.

Mivel ahogy a köznyelvben, úgy a szaknyelvben is vannak azonos szabályok szerint képezhető szavak, kérjük a szakterületek képviselőit, hogy alkossanak szabályokat, s ezeket javaslatként csatolják a szószedethez. Külön hangsúlyt fektessenek a szóösszetételekre, az egybeírás és különírás szabályaira. A javasolt szabályok természetesen ajánlások, ezeket a nyelvésszel egyeztetve harmonizáljuk az általános helyesírási szabályokkal.

A közszavak és a rokontudományok szavai csak akkor kerülnek be a szószedetbe, ha szorosan kapcsolódnak a földtudományokhoz.

Mivel egy ilyen munka hajlamos végtelenné válni, nagyon ügyelünk a határidők betartására. A szó- és szabálygyűjtést 2007. szeptember 30-án lezárjuk. Aki a további munkálatokban is részt kíván venni, levélben az említett e-mail címen jelezze.

Mindenki segítségéért a magam és a szakma nevében előre is hálás vagyok.

Köszönettel:

PIROS Olga
szerkesztő

RENDEZVÉNYEK

Megemlékezés 1956-ról

A Magyarhoni Földtani Társulat két részletben emlékezett meg az 1956-os magyar forradalom és szabadságharc 50. évfordulójáról, a Tudománytörténeti Szakosztály szervezésében. A 2006. október 16-án délelőtt tartott emlékülést VÖRÖS Attila társelnök nyitotta meg, felelevenítve személyes emlékeit. PÓKA Teréz, a Tudománytörténeti Szakosztály elnöke, megemlékezett az 1956 októberében életét vesztett TÓTH Dezső geológushallgatóról. Az 1956-ban külföldre távozott geológusok közül PARÁK Tibor (Svédország) és SALAMON Miklós (Dél-afrikai Köztársaság) személyesen beszélt a kormánytanácsosságig ívelő külföldi pályafutásáról. KISVARSÁNYI Géza és felesége BOGNÁR Éva (USA), KÖVES-TAPODY Zsuzsa (Ausztria), TRUNKÓ László (Németország) és SAÁRY Éva (Svájc) írásban megküldött visszaemlékezéseiből hangzottak el részletek. Megtekinthető volt egy válogatás is SAÁRY Éva gaboni fekete-fehér művészfotóiból. KECSKEMÉTI Tibor a Természettudományi Múzeum Ásvány-, Kőzet- és Őslénytárát ért károkat ismertette. Délután a Corvin közben DUDICH Endre a Társulat nevében megkoszorúzta a „Pesti srácok" emléktábláját. Az eseményről a Zugló TV felvételt, majd interjút készített DUDICH Endrével és KECSKEMÉTI Tiborral.

2006. november 27-én a Társulat és a Magyar Állami Földtani Intézet közösen egy *Gingko biloba* facsemetét ültetett el a MÁFI előkertjében, azon geológusok tiszteletére, akiknek 1956 után meg-

hurcoltatásokban volt részük. BÁLDI Tamás visszaemlékezéseiből felesége, BEKE Mária olvasott fel. DUDICH Endre pedig, PÓKA Teréz összeállítása alapján, röviden ismertette a WEIN Györgyöt, CORNIDES Istvánt és BALKAY Bálintot ért retorziókat. MÁTYÁS Ernő visszaemlékezéseit SÁG László mutatta be. Jelen volt Franciaországból ZOLNAI Gergely is. Az ünnepség a 80 éves SIPOSS Zoltán felköszöntésével fejeződött be.

DUDICH Endre

SZÉKYNÉ Fux Vilma emlékülés 2006. november 24.

A Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének szervezésében 2006. november 24-én került sor a Magyarhoni Földtani Társulat előadói emlékülésére, mely az MTA Debreceni Akadémiai Bizottság központjában volt. A 88 hallgató és közte 29 előadó részvételével megtartott, bensőséges hangulatú előadóülés levezető elnökei FÖLDVÁRI Mária, VICZIÁN István és KOZÁK Miklós voltak.

A rendezvényen képviseltette magát az elhunyt családja, a Debreceni Egyetem több tanszéke, az Eötvös Loránd Tudományegyetem, a Miskolci Egyetem, a Budapesti Műszaki Egyetem, a Magyar Természettudományi Múzeum, a Magyarhoni Földtani Társulat, a Magyar Állami Földtani Intézet, a Bükki Nemzeti Park és az MTA Debreceni Atommag Kutató Intézete, ill. több más intézmény, valamint pályatársak, munkatársak, tanítványok, a fiatal generáció képviseletében, doktoranduszok és egyetemi hallgatók.

A közel 7 órás előadóülés első szakaszában került sor SZÉKYNÉ Dr. FUX Vilma Széchenyi-díjas professzor emeritus személyéhez kapcsolódó megemlékezésekre. KOZÁK Miklós vetített képekben mutatta be a teljes életutat, majd azt a Székyné vezette tiszántúli vulkanológiai kutatást, melynek eredményei tovább hasznosulnak újabb programok keretében. A volt tanítványok 1956-os nemzedékének emlékére került felolvasásra MÁTYÁS Ernő: „Csakazért is... " című 2003-ban írt verse. PÓKA Teréz egykori tanítvány és munkatárs nevében (betegsége mistt) PAPP Péter olvasta fel a Székyné tudománytörténeti munkásságáról írott összeállítást. GYARMATI Pál méltatta a kálimetaszomatózis hazai kutatástörténetében betöltött meghatározó szerepét. SERESNÉ HARTAI Éva és FÖLDESSY János a telkibányai aranybányászati központ, mint oktatási bázis jelentőségéről tartott előadást, amely számos vonatkozásban összefonódott Székyné tevékenységével. SZAKÁLL Sándor olyan újonnan felismert szulfo-sókat mutatott be, amelyek pontosítják azt a képet, amelyet még Székyné professzornő tett a „Telkibánya ércesedése és kárpáti kapcsolatai" című a Társulat Szabó József-emlékéremmel kitüntetett, nemzetközileg is elismert munkájában.

Hozzászólásában MINDSZENTY Andrea az ELTE Alkalmazott Földtani Tanszékének vezető professzora az egykori munkatársak és tanítványok nevében emlékezett meg Székyné eredményekben gazdag budapesti munkásságáról, és felelevenítette az egykori közös erdélyi hallgatói terepgyakorlat emlékeit, valamint a professzornőt körülvevő tiszteletet és szeretetet.

Az ezt követő 15 előadás közvetve kapcsolódott a professzornő munkásságához. A témák felölelték a klasszikus földtan, a vulkanológia, a geokémia és alkalmazott geológia (hidrogeológia, geotermika, környezetföldtan stb.) számos területét.

A Székyné Fux Vilma professzornő tiszteletére elhangzott előadások és közlésre leadott tanulmányok anyagát a debreceni Ásvány- és Földtani Tanszék az ez évben megújított formájú és tartalmú intézeti kiadvány az Acta GGM Debrecina Series Geológia, Geomorfológia, Természeti Földrajz következő számában kívánja megjelentetni.

MCINTOSH Richard William

FUCHS Herman Emlékkonferencia, Kolozsvár 2006. december 16.

A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Természettudományi és Művészeti Kara emlékkonferenciát szervezett FUCHS Herman (Brassó, 1915. február 18 – Kolozsvár, 1996. április 11.) halálának 10. évfordulója alkalmából. WANEK Ferenc, a az egyetem oktatója hatodik alkalommal szervezte meg a hajdani Bolyai Tudományegyetem geológus oktatói emlékére rendezett tudományos találkozót. A konferencián részt vettek FUCHS Herman hozzátartozói valamint egykori tanítványai.

A rendezvény a kolozsvári Kis-temetőben, FUCHS Herman sírjánál megemlékezéssel és koszorúzással kezdődött, majd a Sapientia EMTE épületében folytatódott. Dr. TONK Márton — a Természettudományi és Művészeti Kar dékánja — köszöntője után WANEK Ferenc beszélt egykori tanáráról, aki vele is egy életre megszerettette az őslénytan tudományát.

Fuchs Herman özvegye elsősorban az emberről, a férjről mesélt, valamint közös életükről, mely a szegénység és a meghurcoltatások közepette is kölcsönös megértésen, megbecsülésen és szereteten alapult.

FUCHS Gábor Herman röviden felvázolta édesapja életrajzi adatait: iskoláit, oktatói, illetve kutatói tevékenységének fontosabb mozzanatait, az egyetemről való kizárását, tudományos dolgozatait, és családcentrikus magatartását.

Dr. KORDOS László, a Magyar Állami Földtani Intézet főmunkatársa (mára az igazgatója) FUCHS Herman és a Kolozsvár környéki szirének címmel tartott előadást. Dr. VENCZEL Márton, a Nagyváradi Körösvidéki Múzeum munkatársa a „Harmadkori teknősök Kolozsvár környékéről Brassói FUCHS Herman gyűjtésében" című előadásában a tanár úr gyűjtő- és kutatómunkájának egy kis szeletét ismertette. A délelőtti előadás-sorozat BAKÓ Botond, a Nagyenyedi Református Kollégium tanárának hozzászólásával ért véget, aki örömmel tudatta, hogy „Fuchs tanár úr kövületei visszatértek Nagyenyedre" (ugyanis 1974-ben Fuchs Herman személyes gyűjteményének egy részét vitte oda, hogy bemutathassa a diákoknak, és halála után a család ezeket a kövületeket a Kollégiumnak adományozta).

Délután az alábbi előadások hangzottak el: KORODI Enikő: A Hesdát-szurdok mezozoikumi szigetív vulkanitjainak hidrotermás mállástermékei, PÁSZTOHY Zoltán: A Homoródalmási-rög és az exotikus-kristályos, mezozoos és eocén elemek származása és rétegtani helyzete, GÁL Andrea, IHOS Andrea és KATONA Nóra-Emília: Iszapvulkán típusok vizsgálata Fiatvalván és Kobátfalván, Wanek Ferenc: NYULAS Ferenc elfelejtett szerepe Erdély földgázkincsének feltárásában.

Az emlékkonferencia IMECS Levente és KELEMEN Csongor művészhallgatók versösszeállításával, majd baráti koccintással ért véget.

A konferencia megszervezéséért köszönet illeti WANEK Ferencet, aki felvállalta az egykori Bolyai Tudományegyetemen folyt földtani oktatás hiteles megismertetését.

KORODI Enikő

Emléktábla-avatás

Dr. Kretzoi Miklós születésének 100. évfordulója alkalmából barátai emléktáblát helyeztek el egykori lakóházának (Budapest II. Lövőház u. 24.) homlokzatán 2007. február 9-én 11.00 órakor.

SZEMÉLYI HÍREK

Kinevezés

A Magyar Geológiai Szolgálat főigazgatója 2006. november végén pályázatot írt ki a Magyar Állami Földtani Intézet igazgatói állására. 2006. december 27-én közzétett döntése alapján a MÁFI új igazgatója Dr. KORDOS László, aki eddig az Intézetben működő Országos Földtani Múzeum vezetője volt.

PhD védések 2006-ban az ELTE-n

SZŐCS Teodóra (témavezető: VETŐ István) 2006. 02. 07.: Áramlási rendszerek, víz-kőzet kölcsönhatások megismerése és alkalmazása. Esettanulmány: a Tolnai-hegyhát (Diósberény-Udvari)

ZAJZON Norbert (témavezető: Weiszburg Tamás) 2006. 04. 21.: Ásványtani és geokémiai vizsgálatok a perm-triász határon, magyarországi szelvényekben

BATA Gábor (témavezető: Andó József) 2006. 05. 02.: A geokémiai környezetállapot-felvételezés természetes tájszerkezethez igazodó, térinformatika alapú vizsgálata a Tétényi-fennsíkon és a Nagytétényi-öblözet területén

GALAMBOS Csilla (témavezető: Márton Mátyás) 2006. 06. 06.: Digitális földtani térképek jelkulcsának kidolgozása integrált térinformatikai alkalmazások számára

PAZONYI Piroska (témavezető: Monostori Miklós) 2006. 06. 15.: A Kárpát-medence kvarter emlősfauna közösségeinek paleoökológiai és rétegtani vizsgálata

KERCSMÁR Zsolt (témavezető: Monostori Miklós) 2006. 10. 12.: A tatabányai eocén medence földtani felépítésének és fejlődéstörténetének újabb kutatási eredményei, üledékföldtani és tektono-szedimentológiai vizsgálatok alapján

ŐSI Attila (témavezető: Galácz András) 2006. 11. 06.: A magyarországi késő-kréta heterodont Eusuchia krokodil cranioanatómiai, izomzati és funkcionális morfológiai vizsgálata és összehasonlítása más heterodont krokodilokkal

Elhunyt tagtársaink

Dr. KORPÁS László

Emlékünkben és munkáiban tovább él.

KÖNYVISMERTETÉS

HÂRTOPAN, Paulina: Mineral genesis of the manganese belt in the Bistrița mountains

Ed. Cartea Universitară — București, 348 old.

Ha azt állítom, hogy egy „nagy" könyv áll előttem, ezt nem a volt munkatársam iránti mély

tisztelet, és nem is a Besztercei-hegységhez fűződő nosztalgiából teszem. Ez a könyv abban nagy, ami általában hiányzik a modern, örökké időhiányban szenvedő kutató(k) hasonló termékeiből: a két évtizeden át húzódó terepi munkára és a 277 (hivatkozott) irodalomra épült alaposság. Ez a mineralógusoknál óhatatlanul új és „extrém" ásványok felfedezését hozza maga után. A szerző élni tudott az exeteri és edinburghi egyetemek csúcstechnológiájával, és a jelenleg „lefagyasztott" ásványegyüttesekben sikerült nyomon követnie a metamorf környezet hányatott múltját, öt progresszív és retromorf metamorf fázison át.

Paulina HÂRTOPAN választása nem véletlenül esett a Keleti-Kárpátok egyik legérdekesebb szegmensében megjelenő mangán-ércesedésekre. Itt, a metamorf Tölgyesi (Tulgheş) Formációcsoport egyik tagjaként (Tg_2) a mangántartalmú hidrotermális üledékek prekambriumtól (675 Ma) az alpi orogenezis ausztriai fázisáig (100 Ma) legkevesebb öt tektonikai-ásványképződési cikluson mentek át. Az eredmény: 16 ásványasszociáció-típus (köztük néhány ritka, mint például a nambulites és a pyroszmalites asszociáció, az elsőben egy hidratált piroxenoid, a másikban egy klórt és arzént tartalmazó rétegszilikát dominál). És ezernél több azonosított ásvány (a kb. háromezer eddig elfogadott ásvány egy harmada)! Közöttük olyan ritkaságok, mint a johannsenit, kinoshitalit, parsettensit, yoshimurait, schallerit stb. Mindez nem személytelen csúcsok formájában, egy röntgendiffraktogramon, hanem beмérve, lefényképezve, mellettük a mikroszondával mért összetétel és a fázisdiagram a besraffozott P-T tartományokkal, amelyekben az ásvány keletkezhetett.

Innen már csak egy lépés volt (de mekkora lépés!) a metamorf fázisok felgöngyölítése. Milyen egyszerű volt, amikor (úgy tanultuk!) volt egy epimetamorf tölgyesi sorozat (később: zöld pala fácies iskolapéldája: szericit, klorit, albit, némi gránát, amivel nem tudtunk mit kezdeni, az amfibolok... hát hajdani vulkanitok reliktumai) és benne a mangántartalmú üledékekből keletkezett érc: rodokrozitos, szilikátos érc és a tetején (nagyrészt már leművelt) oxidációs zóna. A hatvanas években kiderült, hogy a Keleti-Kárpátok gerinceként addig egységesnek hitt „Kristályos-mezozoos-zóna" takarós szerkezetű. A '70-es években többen is bizonyítottnak vélték, hogy a takarósodást megelőzően komoly retromorf folyamatokon ment át egy eredetileg magasabb P-T tartományban keletkezett metamorf összlet. Itt kapcsolódott be a kutatásokba dr. Paulina HÂRTOPAN, aki felismerte, hogy egy metamorf összlet kialakulásának és további sorsának a nyomait leginkább a változásokat jól regisztráló mangánásványok között kell keresni. És meg is találta: az eredetileg hidrotermális képződmény sorra került a nagy nyomású kékpalák közé, a nagyon nagy nyomású és nagy hőmérsékletű calderit-zónába és onnan, a granulitfáciesen keresztül részben vissza a kékpalák közé, és részben, több lépcsős retromorf folyamatoknak köszönhetően a jelenleg látható zöldpalafáciesbe.

Eddig a mű tudományos eredményeiről. De még maradt valami, amiről említést kell tenni. Nem az akkurátusan megrajzolt, gondosan feliratozott megannyi fázisdiagramról, sem a terjedelmes, de átlátható táblázatokról, hanem a közel 150 színes fotóról van szó. A mangánásványok amúgy is színpompás világában HÂRTOPAN kollegina egy képzőművész érzékével vezet bennünket képtől képig, az egyásványos karbonátmezők diszkréten irizált rószaszínjétől a zónás és ikerlemezes amfibolokon át a piroxmangit-rodonit-johannsenit szálas, kék-narancs-vörösesbarna absztrakt ecsetvonásokig (XII. tábla, C; 130. old.). Ezekből a csodálatos fotókból jutott bőven a könyv mindkét borítójára is. Szavamra, még ha nem lennék szakmabeli, akkor is megvenném ezt a könyvet, csakhogy gyönyörködhessek bennük!

A könyv eredetiben megtalálható és tanulmányozható a Magyar Állami Földtani Intézet Röntgen-laboratóriumában.

KALMÁR János

WÜTHRICH, S., AFFOLTER, J., AKERET, Ö., BECZE-DEÁK, J., GRASSMANN, P., GEITH-CHAUVIÉRE, I., HAVLICEK, E., KAPELLER, A., LEUVREY, J.-M., LINIGER, C., MAIRE, M., MONTAVON, A., ROLLI, M., THEW, N. és ZWALD, V.: Saint-Aubin/Derriére la Croix. Un complexe mégalithique durant le Néolothique moyen et final.

Archéologie neuchateloise, 29, vol. 2. Neuchatel, Service et musée cantonal d'archeologie. 2003.

Magyarországon geológusként egyre többen foglalkoznak archeogeológiával ezért úgy gondoljuk nem érdemtelen megismerni a fenti művet, annál is inkább mert örömünkre a magyar származású BECZE-DEÁK Judit geológus is részt vállalt a munkában.

1994–1997 között, Svájcban, Neuchatel kantonban az A 5-ös út építésekor archeológiai feltárásokat végeztek. A feltárás 20 km-re Neuchateltől késő-glaciális hordalékkúpon van, amely 9,4 hektár nagyságú és a mai Neuchateli-tó szintje

felett 6 m magasságban található. A területen gazdag, több archeológiai rétegre kiterjedő előfordulások vannak. Az említett morfológiai magasságban időszámítás előtt az 5. évezredből kb. 45×14 m² felületen gránit- és gneiszblokkokból álló megalit található. Ez a réteg különböző fázisokat ölel fel. Az első fázis az 5. évezred közepe, amely négy megahír kőzetsorozatból áll és ezek tengelye DNy–ÉK-i irányú. A második fázis a 4. évezred végéről származik és négy kőzetblokkból áll, amely kétségtelenül kevésbé rendezett. Az utóbbi fázishoz tartozik továbbá egy kisebb egyedülálló menhír. A kőzetblokkok legnagyobb része össze van törve, amely a modern idők emberi tevékenységére vezethető vissza. Egyesek azonban részben eredeti állapotukban maradtak meg és a gödreikben talált faszén maradványok szénizotóp vizsgálatokat tesznek lehetővé.

Az első antrópikus szintet az első kőzetsor és a tőle 30 m-re feltáruló emberi tevékenység nyoma jelenti: „polinéziai tűzhely", égetett kőzet-, és tűzkődarabok vannak a leletek között. A szénizotóp kormeghatározás i. e. 4840–4590-re utal. A régészeti kutatás ezekből a nyomokból a megalitok feállítása előtti, szent hely „elfoglalására" következtet.

A második fontos antrópikus szint kora az i. e. 4500–4300 időszak. Itt az emberi tevékenységet 15 tűzhely bizonyítja.

Egy harmadik tevékenységi terület a megalit előfordulástól 200 m-re, a patak oldalában jelenik meg, ahol forrás lép ki és itt forrásfoglalás történt A gazdag kerámia leletanyag bizonyítja a forrás körül összpontosult tevékenységet, amely a szerzők szerint valószínűleg a hely vallásos létével van kapcsolatban. Ennek kora i. e. 4460–4250. A forrástól kis távolságra egy tűzhely és egy élelemraktár jelenik meg, amelynek kora a 4. évezred első negyede. Az élelmiszerraktárban gabona és étkezéssel kapcsolatos hulladék volt. A megalitok körüli leletek már folyamatos településre utalnak. Figyelmet érdemel a csupaszbúza (*Triticum aestivum/durum/turdigum*) maradványok jelenléte, amely az Alpoktól északra az eddigi ismeretek szerint a legrégebbi leletnek számítanak.

A következő emberi tevékenységet egy egyedülálló fiatalabb kőzetsor és egy tűzhely jelzi, amelynek kora, az időszámítás előtt 3800 és a 4. évezred közötti.

A későbbi korokból származó régészeti leletek csupán két kisebb késő-bronzkori tűzhelyből, egy kora-középkori mészégető kemencéből és egy 16. századból származó kisebb csónakmaradványból állnak. Ez a leletszegénység a feltárt terület morfológiai adottságaival hozható kapcsolatba. A Jurahegység tó felőli lejtője erős eróziós hatásnak volt kitéve, amely részben antropogén eredetű, részben pedig éghajlatváltozások okozta patak és tavi árvízi elöntésekre vezethető vissza.

A kőszerszámok anyagának és helyének azonosítása lényeges része volt a neolitikum szempontjából fontos lelőhely megértésének. A dendrológiai meghatározások részletes információkkal bővítették a 16. században épített kikötő maradványairól szóló fejezetet. Fontos volt azonban az archeológiai rétegek érintkezésének (átmeneteinek), talajtípusainak, kőzeteinek és ősmaradványainak a feltárása is. Ezek a kutatások több mint 50 oldalas, gazdagon illusztrált fejezetben részletesen rekonstruálják a Rhone-glecscser visszahúzódása óta eltelt időszak éghajlatingadozásait, stabilizációit és a tájváltozást az egyre erősebb emberi hatásoknak köszönhetően. A talajtan és talaj-mikromorfológiai vizsgálatok a terület vonzó, potenciális értékeit tárták fel és a talajokban felelhető antropogén hatásokat elemezték. A geológiai vizsgálatok kiterjedtek többek között a kőzetek és talajok ásványos és szemcseösszetételének elemzésére, az üledékes és talajtani folyamatok eredetének meghatározására. A malakológiai meghatározások részben a tardiglaciális időszak éghajlatváltozásait, részben pedig a két régészeti szerkezet környezeti paramétereit pontosította. Figyelemre méltó ennek a fejezetnek a módszertani bevezetője is, amelyben az interdiszciplinális kutatásnak a részleteit is megismerhetjük. Az archeobotanikai vizsgálatok külön fejezetben számolnak be a gabona háziasítás eredményeiről, lehetővé téve, hogy beleláthassunk a neolitikumi ember étkezési szokásaiba.

Az archeológiai lelőhely jelentőségét az adja, hogy egy megalitkomplexum aktivitását ismerhetjük meg benne. Ez azért fontos mert általában a megalit előfordulási helyeken más régészeti maradványok különösen ritkák. A konzerválódott leletanyag valamint az interdiszciplinális kutatás lehetővé tette, hogy a szerzők a környék neolitizációjának kérdésére keressék a választ. A munka igen bő kép és rajzanyagot tartalmaz. A francia nyelvű összefoglaló mellett német, angol és olasz összefoglalóval is rendelkezik.

MOLNÁR Béla

Útmutató a Földtani Közlöny szerzői számára

A Földtani Közlöny — a Magyarhoni Földtani Társulat hivatalos szakfolyóirata — csak eredeti, új tudományos eredményeket tartalmazó (magyar, ill. idegen nyelven még meg nem jelent) közleményeket fogad el.

Elsődleges cél a hazai földdel foglalkozó, vagy ahhoz kapcsolódó tárgyú cikkek megjelentetése. A kézirat lehet: értekezés, rövid közlemény, vitairat, fórum, szemle, rövid hír, könyvismertetés stb. Vitairat a vitatott cikk megjelenésétől számított hat hónapon belül küldhető be. Ez esetben a vitatott cikk szerzője lehetőséget kap arra, hogy válasza a vitázó cikkel együtt jelenjék meg. Az értekezések maximális összesített terjedelme 25 nyomdai oldal (szöveg, ábra, táblázat, fénykép, tábla). Ezt meghaladó értekezés csak abban az esetben közölhető, ha a szerző a többletoldal költségének 130%-os térítésére kötelezettséget vállal. A tömör fogalmazás és az állításokat alátámasztó adatszolgáltatás alapkövetelmény. A folyóirat nyelve magyar és angol. A közlésre szánt cikk bármelyik nyelven benyújtható, minden esetben magyar és angol nyelvű összefoglalással. Az angol változat vagy összefoglalás elkészítése a szerző feladata. Más idegen nyelven történő megjelentetéshez a Szerkesztőbizottság hozzájárulása szükséges.

A **kéziratot** (szöveg, ábra, táblázat, fénykép, tábla) **digitális formában** — lemezen vagy hálózaton keresztül — **kell benyújtani,** emellett **a technikai szerkesztőhöz 3 nyomtatott példányt is meg kell küldeni.** Ha a szerző nem tudja biztosítani a digitális formát a kézirat elfogadásáról a Szerkesztőbizottság javaslata alapján a Társulat Elnöksége dönt, tekintettel annak költségvonzatára. Jelenleg IBM-kompatibilis személyi számítógépen bármely szövegszerkesztőből ASCII kódban (DOS Text Only) kimentett változat nyújtható be, de elsősorban a Word változatok használata javasolt (.rtf formátumban).

A Szerkesztőbizottság három lektort jelöl ki. A felkért lektoroknak 3 hét áll rendelkezésre a lektorálásra. A harmadik lektor egy pozitív és egy negatív vélemény, ill. valamelyik lektor visszautasító válasza esetén kapja meg a kéziratot. A szerzőtől a Szerkesztőbizottság a lektorálás után 1 hónapon belül várja a javított változatot. Amennyiben a lektor kéri, átdolgozás után újra megtekintheti a cikket, s ha kívánja, pár sorban közzéteheti szakmai észrevételeit a cikkel kapcsolatban. Abban az esetben, ha a szerzői javítás után megkapott cikkel kapcsolatban a lektor 3 héten belül nem nyilvánít véleményt, úgy tekintjük, hogy a cikket abban a formájában elfogadta. **Mindazonáltal a Szerkesztőbizottság fenn-tartja magának a jogot, hogy kisebb változtatás esetén 2 hónapon, nagy átdolgozás esetén 6 hónapon túl beérkező cikkek megjelentetését visszautasítsa.**

A kézirat részei (kötelező, javasolt):

a, Cím
b, Szerző(k), postacímmel (E-mail cím)
c, Összefoglalás (angol abstract)
d, Bevezetés, előzmények
e, Módszerek
f, Adatbázis, adatkezelés
g, A téma kifejtése — megfelelő alcím alatt
h, Diszkusszió
i, Eredmények, következtetések
j, Köszönetnyilvánítás
k, Hivatkozott irodalom
l, Ábra-, táblázat- és fényképmagyarázatok
m, Ábrák, táblázatok és fényképtáblák

A Közlöny nem alkalmaz az alcímek esetében sem decimális, sem abc-s megjelölést. Az alcímek nem lehetnek három fokozatnál nagyobbak. Lábjegyzetek használata kerülendő, amennyiben mégis elkerülhetetlen, a szöveg végén sorszámozva ún. végjegyzetként jelenik meg.

A cikk szövegében hivatkozások az alábbiak szerint történjenek:
RADÓCZ (1974), ill. (RADÓCZ 1974)
GALÁCZ & VÖRÖS (1972), ill. (GALÁCZ & VÖRÖS 1972)
KUBOVICS et al. (1987), ill. (KUBOVICS et al. 1987)
(GALÁCZ & VÖRÖS 1972; RADÓCZ 1974, 1982; KUBOVICS et al. 1987)
(RADÓCZ 1974, p. 15.)

Az illusztrációs anyagot (ábra, táblázat, fénykép, tábla) a tükörméretbe (130×196) álló, vagy fekvő helyzetben beilleszthető méretben kell elkészíteni. Az illusztrációs anyagon a vonalvastagság ne legyen 0,3 pontnál kisebb, a betűméret ne legyen 6 pontnál kisebb. A digitális ábrákat, táblákat cdr, .tif, .eps, .wmf kiterjesztésekkel, illetve, a tördelő programba történő beilleszthetőség miatt az Excel táblázatokat word táblázatokká konvertált formában, az Excel ábrákat CorelDraw formátumban tudjuk elfogadni.

A Földtani Közlöny feltünteti a cikk beérkezési és elfogadási idejét is. A késedelmes szerzői javítás esetén a második (utolsó) beérkezés is feltüntetésre kerül.

Az előírásoknak meg nem felelő kéziratokat a technikai szerkesztő a szerzőnek, több szerző esetén az első szerzőnek visszaküldi.

A kéziratokat a következő címre kérjük beküldeni: Piros Olga 1443 Budapest, Pf. 106.

Földtani Közlöny 137/1, 2007

Tartalom — Contents